TRINH XUAN THUAN
GALLIMARD • SCIENZA E NATURA
Big Bang
origine e destino dell'universo
UNIVERSALE ELECTA/GALLIMARD

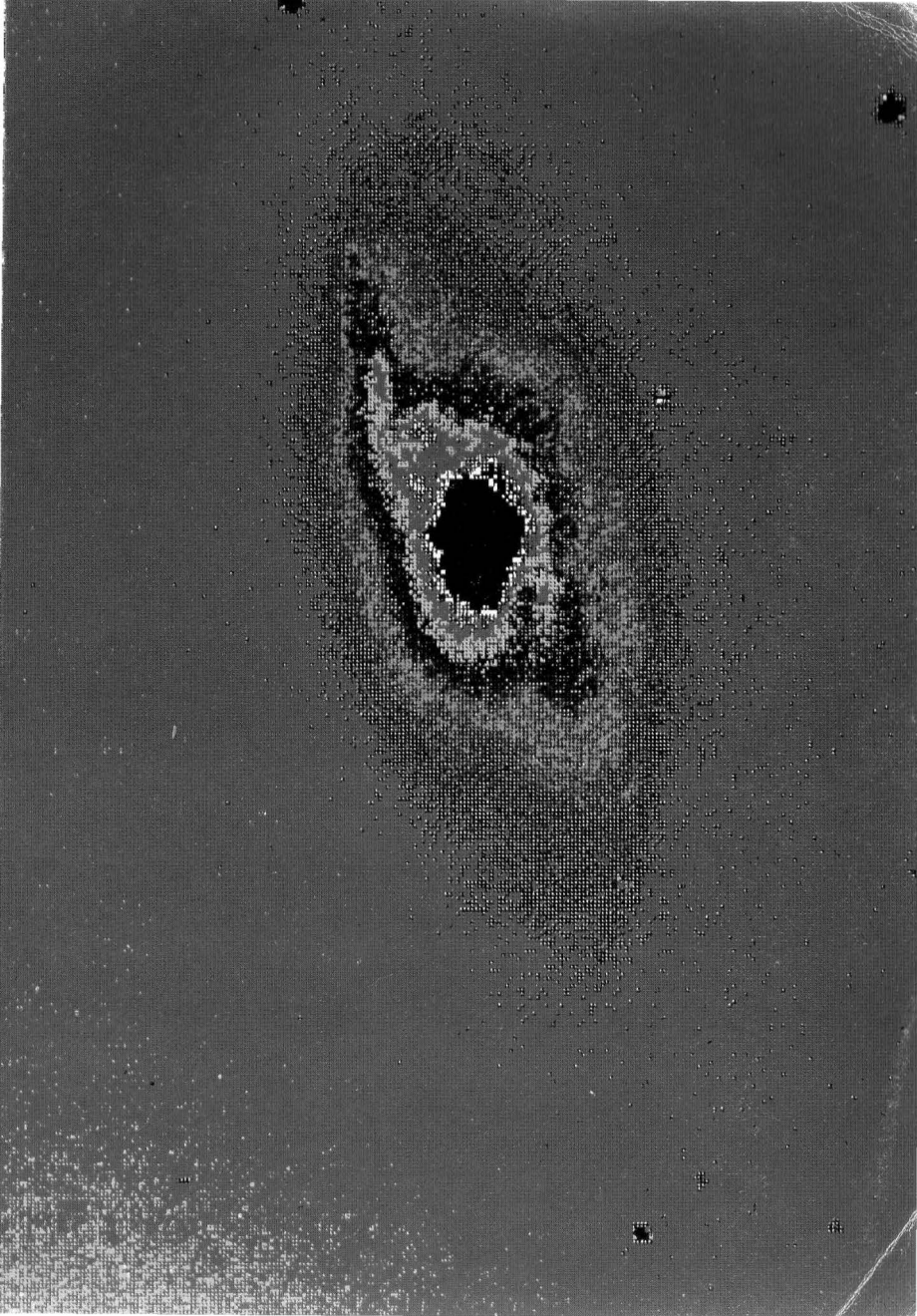
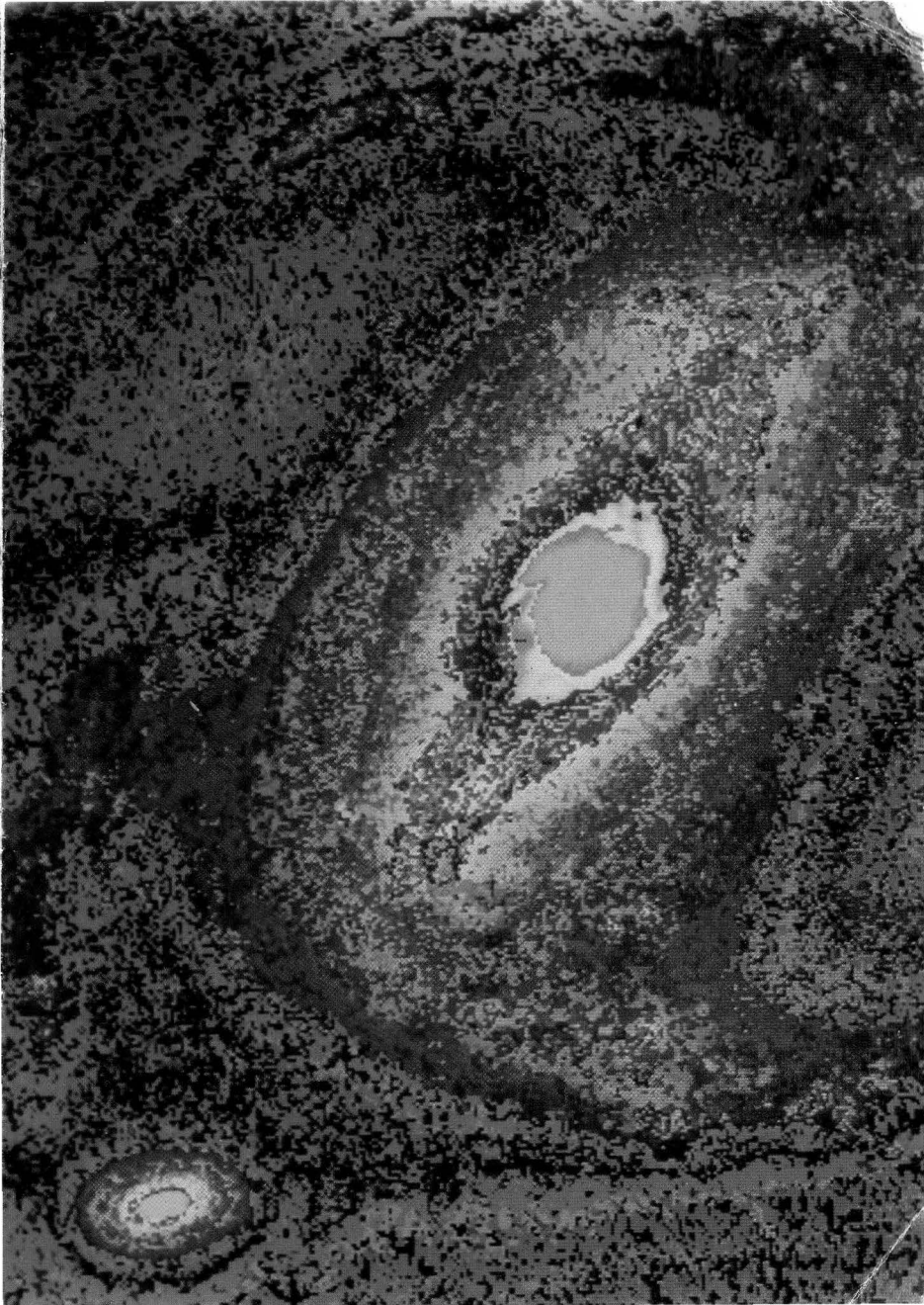
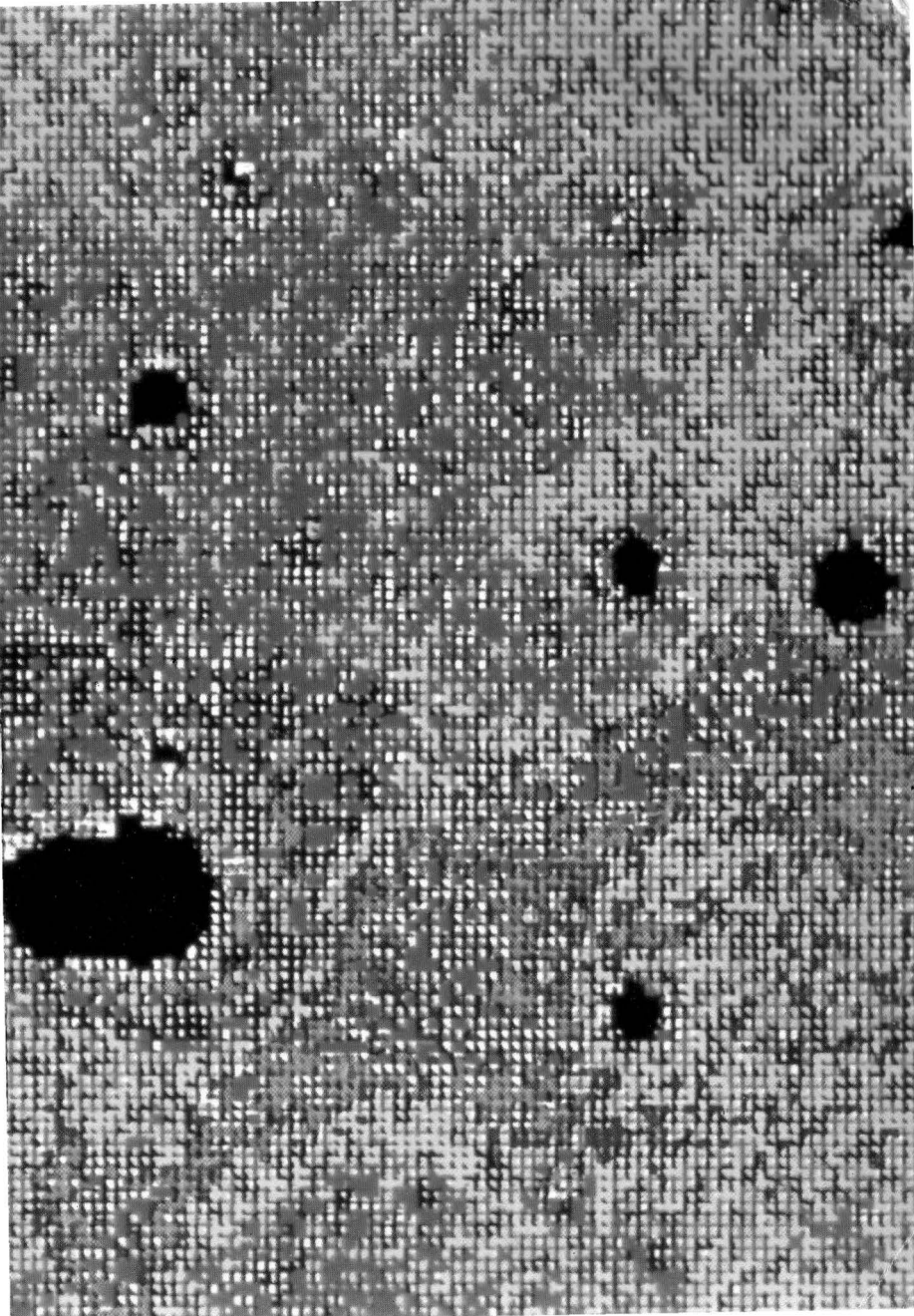
Quindici miliardi di anni fa una folgorante esplosione ha dato origine all'universo, allo spazio e al tempo. Continua, da allora, un'incessante evoluzione verso la complessità. A partire dal vuoto microscopico iniziale si è tessuta un'immensa tela cosmica composta da centinaia di miliardi di galassie, costituite a loro volta da centinaia di miliardi di stelle.

In una di quelle galassie, su un pianeta nei pressi di una di quelle stelle, è apparso l'uomo, capace di meravigliarsi e di interrogarsi davanti all'immensità e all'armonia del cosmo.

L. 20.000

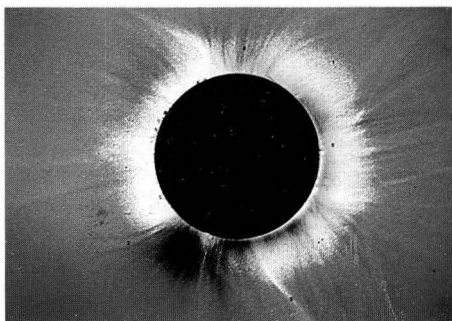
ISBN 88-445-0033-7
9 788844 500337

Lo spettacolo dell'universo
si trasfigura davanti alla nostra mente
colma di stupore.
Non sono più blocchi di materia,
inerti ed errabondi
nell'eterna notte silente,
che Urania ci addita nel fondo dei cieli:
è la vita, la vita immensa,
universale, eterna,
che si dispiega in flussi armoniosi
fino agli orizzonti inaccessibili
dell'infinito in perpetua fuga!
Quale meravigliosa impresa!
Quali splendori da contemplare!
Quali vastità da percorrere!
È una sterminata galleria di immagini,
frutto delle nobili e pacifiche conquiste
dell'ingegno umano; conquiste sublimi,
che non sono costate né sangue né lacrime,
che ci fanno vivere
nella conoscenza del Vero
e nella contemplazione del Bello!

Camille Flammarion,
Astronomia popolare, 1925.

SOMMARIO

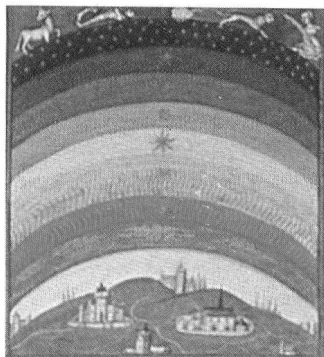
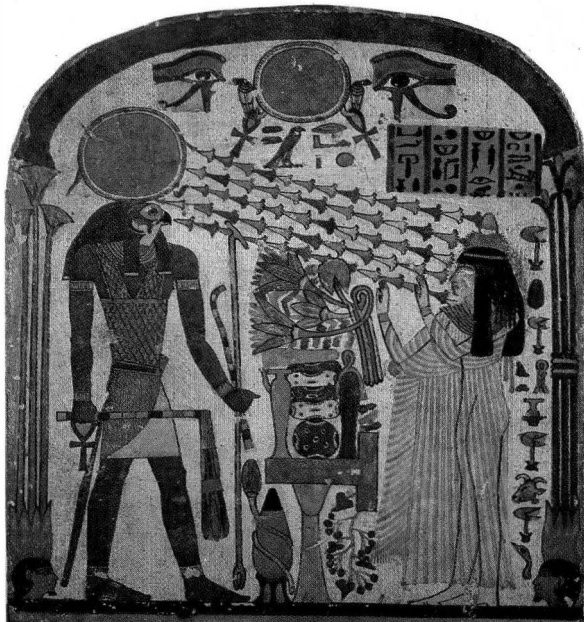
BIG BANG

ORIGINE E DESTINO DELL'UNIVERSO

Trinh Xuan Thuan

UNIVERSALE ELECTA/GALLIMARD
SCIENZA E NATURA

I. L'UNIVERSO E I SUOI MITI

Per decifrare l'arcana melodia dell'universo, l'uomo ha sempre cercato di riunire in una visione organica tanti aspetti della realtà in apparenza eterogenei: la luce del giorno e le tenebre della notte, le rosee pennellate dell'alba e gli incendi vermigli del tramonto, la falce opalescente della Luna e la grande arca nivea che orna la volta celeste delle sere estive.

Attraverso le epoche e le culture, l'uomo ha proiettato nel cielo i suoi sogni e le sue aspirazioni. Gli egizi vedono nella volta celeste il corpo della bella dea Nut (a fronte). Nel Medioevo, quando la rotondità della Terra è un fatto ormai acquisito, si ritiene che la posizione dei pianeti rispetto alle costellazioni dello zodiaco (a fianco) determini il destino degli uomini e delle nazioni.

Râ, il dio Sole, riveste un ruolo fondamentale nella mitologia egizia dell'Epoca Bassa (2480-2350 a.C.). A sinistra, lo si vede raffigurato in una stele dipinta nell'atto di dispensare calore ed energia a una sua devota.

Fin dalle epoche più remote l'uomo tenta di esorcizzare l'angoscia dello spazio infinito, costruendo schemi ordinati che diano un volto familiare al mondo che lo circonda.

Alcune centinaia di migliaia di anni fa l'uomo preneandertaliano viveva in un universo in cui tutto era spirito: lo spirito Sole durante il giorno, gli spiriti Luna e Stelle durante la notte, lo spirito Albero che dava il frutto, lo spirito Pietra contro il quale inciampava: insomma, un universo rassicurante e conosciuto, fatto a propria misura.

La nascita dell'universo divino

Circa diecimila anni fa è emerso un universo mitico dominato dagli dèi. Qualsiasi fenomeno naturale, ivi compresa la creazione dell'universo, è conseguenza delle loro azioni, dei loro amori e accoppiamenti, dei loro odi e conflitti.

La funzione generativa della donna ispira molteplici miti sulla creazione. Per i babilonesi

di cinque millenni or sono, Anu, il dio del Cielo, nasce dall'unione della donna originaria, Tiamat, con Apsu, il dio degli Abissi oceanici. Anu e Tiamat generano a loro volta Ea, il dio della Terra.

L'oceano primordiale è fonte di vita anche nella mitologia egizia. Negli abissi marini vive il primo essere, Atum, che assomma in sé ogni esistenza e che in seguito diviene Râ, il dio Sole. Sull'oceano primordiale fluttua Geb, la Terra, un disco piatto circondato di montagne. Il corpo della bella dea Nut, sostenuto da Shu, il dio dell'Aria, forma la volta celeste. Gli splendidi gioielli che brillano sul corpo di Nut sono i pianeti e le stelle. Nel suo cammino quotidiano attraverso i cieli, la barca di Râ procede sulla schiena di Nut durante il giorno, mentre di notte torna indietro solcando le acque sotterranee.

Nell'universo cinese non esistono divinità personificate. Il mondo è generato dall'effetto reciproco e dinamico di una bipolarità di forze, lo *yin* e lo *yang*. Il Cielo è lo *yang*, l'energia maschile, creatrice e forte; la Terra lo *yin*, la forza femminile e materna. Lo *yin* e lo *yang* si succedono in un ciclo perpetuo: la luce calda e asciutta del Sole,

Nell'universo mitico indiano, Shiva rappresenta l'eterna energia cosmica. Nella scultura al centro, mima danzando l'atto della creazione. È circondato da un'aureola di fiamme che parte da una pianta di loto, simbolo della conoscenza. Ha quattro mani: nella superiore sinistra, tiene un tamburello (la musica della creazione); nella superiore destra, una lingua di fuoco (presagio della futura morte dell'universo). In effetti, i miti indiani parlano di un universo che attraversa periodici cicli di morte e di rinnovamento, lunghi miliardi di anni; tale concezione ricorda, da vicino, certe vedute della cosmologia contemporanea. Oggi tutti sappiamo che l'universo è in espansione, ma nessuno sa come finirà. Se la forza di gravità prodotta dalla sua massa è tanto forte da frenarne l'espansione, un giorno il cosmo collasserà (cioè si contrarrà intorno al proprio centro), morendo in un calore e in una densità infiniti. Sarà il *Big Crunch* (grande scricchiolio). I gesti delle altre due mani di Shiva simboleggiano l'eterno equilibrio di vita e morte. La figura prostrata su cui balla il dio, è l'Ignoranza.

lo *yang*, cede il posto alla luce soffusa, fredda e umida della Luna, lo *yin*.

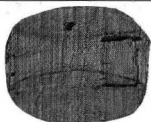
Nelle colonie ioniche sorte sulle coste dell'Asia Minore sboccia, a partire dal VI secolo a.C., la grande civiltà greca

Primi nella storia dell'Occidente – e fors'anche in quella del mondo – i greci non si limitano più alla semplice osservazione dei fenomeni naturali. Nella sostanza, il mondo greco è retto da leggi intelligibili alla ragione umana: l'uomo viene a condividere il sapere divino. Il concetto e la pratica dell'odierno metodo scientifico compaiono proprio durante gli otto secoli del "miracolo greco". Si afferma l'idea che l'armonia cosmica può essere percepita solo osservando e misurando i moti celesti, in particolare quelli planetari.

La scienza non è nata in Cina, ove la tecnologia era tuttavia assai più avanzata che nell'Occidente medievale, come dimostrano le invenzioni della bussola e della polvere pirica. Come mai? Forse, perché la scienza si sviluppa solo in funzione dell'idea che gli uomini si fanno dell'universo. Gli occidentali erano convinti che il mondo fosse dovuto all'intervento di una Entità suprema, e che il cosmo funzionasse secondo leggi divine ben precise, accessibili alla ragione umana. Per i cinesi, i concetti di Dio e di leggi divine regolatrici del mondo non esistevano: secondo loro, ogni realtà dell'universo risultava dall'interazione di due principi, lo *yin* e lo *yang* (a fianco, un filosofo cinese ne studia il simbolo). Per la scienza non c'era spazio.

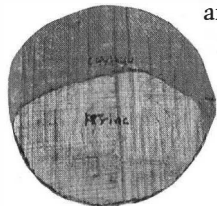
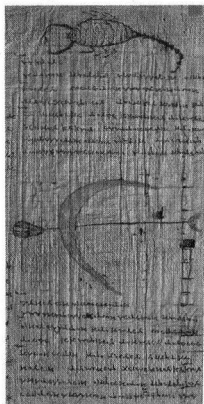
Nella cosmologia greca la Terra è al centro dell'universo

La tentazione di concepire un universo geocentrico è davvero irresistibile. In effetti, contemplando ogni notte la traiettoria est-ovest dei corpi celesti, viene da supporre che la Terra troneggi immobile al centro dell'universo, e che il Sole, la Luna, i pianeti e le stelle le girino intorno. Nel IV secolo a.C., Platone (428-348 a.C.) pensa al globo terrestre come al centro di un'immensa sfera esterna, che ospita stelle e pianeti e che ruota su se stessa con ritmo quotidiano. Ma un universo del genere, composto di due sfere, non spiega la singolare caratteristica del movimento di certi pianeti. Ogni notte pianeti e stelle attraversano insieme il cielo da est a ovest, però talvolta sembra

Prima dell'universo geocentrico di Platone, che precede di oltre cinque secoli quello di Tolomeo (sotto, a sinistra), le prime cosmologie greche avevano ancora una forte impronta mitologica. Per Talete (VII-VI secolo a.C.) la Terra è piatta e galleggia su un oceano primordiale: la volta celeste è d'acqua, elemento primario come nell'universo babilonese. Per Anassimandro (610-547 a.C.) il mondo è frutto dell'interazione e della mescolanza dei contrari: caldo e freddo, luce e ombra (da notare le analogie con lo *ying* e lo *yang* cinesi). Pitagora (VI secolo a.C.) concepisce un universo matematico retto dall'armonia dei numeri, principio di ogni cosa e specchio della perfezione divina.

che alcuni pianeti procedano in direzione opposta a quella delle stelle. Oggi si sa che tale moto, detto "retrogrado", è un'impressione ottica dovuta al fatto che osserviamo il moto dei pianeti dalla Terra, anch'essa in movimento.

Neppure Eudosso di Cnido (408-355 a.C.) ritiene che la Terra si muova, e, per spiegare il moto retrogrado postulando l'immobilità della Terra, trasforma l'universo a doppia sfera di Platone in un complesso congegno di ben trentatré sfere: alla terrestre e alla celeste viene ad aggiungersi una sfera per pianeta. Ogni sfera planetaria è connessa a due sfere supplementari: la chiave del moto retrogrado sta proprio nella combinazione tra il moto delle sfere planetarie e quello delle supplementari.

L'evoluzione della teoria delle sfere

L'universo polisferico di Eudosso, poi perfezionato dall'astronomo, matematico e geografo alessandrino Tolomeo (II secolo d.C.), spiega sì i moti celesti, però manca di una dimensione spirituale. A conferirgliela è Aristotele (384-322 a.C.), che verso il 350 a.C. divide il cosmo in due settori delimitati dalla sfera lunare. Terra e Luna appartengono al mondo imperfetto e mutevole dominato dalla vita, dal logorio e dalla morte; un mondo costituito di quattro elementi (terra, acqua, aria e fuoco) e caratterizzato dal moto verticale. Il mondo delle "alte sfere", ove risiedono gli altri pianeti, il Sole e le stelle, è invece il regno della perfezione, immutabile ed eterno. Il movimento naturale è circolare: ciò spiega l'eterno moto di rotazione delle sfere planetarie intorno alla Terra.

A proposito di sfere, va detto che per gli

Per Platone (428-348 a.C.), le idee, forme geometriche astratte, costituiscono il vero universo, mentre gli oggetti fisici sono solo il pallido riflesso della realtà; di conseguenza il cosmo va pensato e non osservato. Eudosso (408-355 a.C.), di cui si vede in questa pagina alcune illustrazioni di un papiro egizio raffigurante il Sole, la Luna e qualche segno zodiacale, si oppone a tale concezione: per lui, la ragione non può cogliere la realtà se non è corroborata dall'osservazione.

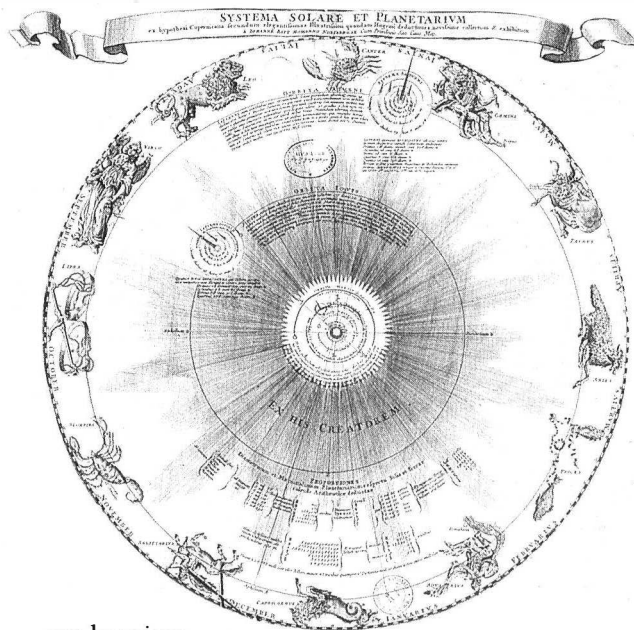
antichi l'universo è solo materia; quella terrestre, imperfetta, è opaca, mentre quella delle sfere celesti è perfetta e perciò trasparente. Il vuoto non esiste: i corpi celesti sono inglobati nella vitrea trasparenza delle sfere, che, ruotando, slittano l'una sull'altra. Per passare da questa teoria (detta del *plenum*) alla concezione di un universo dominato dal vuoto bisognerà attendere Newton.

L'elemento mitico, scomparso dall'universo geometrico di Aristotele, si riaffaccia nell'universo medievale, con figure e concetti derivanti dalla religione cristiana. In questa pagina, l'universo e le coorti angeliche.

"E Dio creò il cielo e la Terra"

Il ruolo di Dio, poco esplicito in Aristotele, diventa fondamentale nella concezione cristiana dell'universo. A elaborarla è san Tommaso

d'Aquino (1225-1274). Alle sfere della Luna, del Sole, dei pianeti e delle stelle, Tommaso aggiunge una prima sfera, dotata di un moto di rotazione costante. Dio, "motore immobile", risiede nel regno dei "fuochi eterni", oltre la prima sfera. Assistito da schiere di angeli, cherubini e serafini, veglia sull'universo da lui creato. Gli angeli abitano le sfere planetarie e quella del Sole, e, veri meccanici del cielo, lo spingono per farlo girare. Il loro grado di perfezione

decresce man mano che si allontanano fisicamente da Dio. Nella regione sublunare si trovano il purgatorio e la Terra, regno mortale degli uomini. Nelle sue viscere alberga l'inferno, regno di Satana e degli angeli ribelli,

ove le anime dannate resteranno fino al Giudizio Finale.

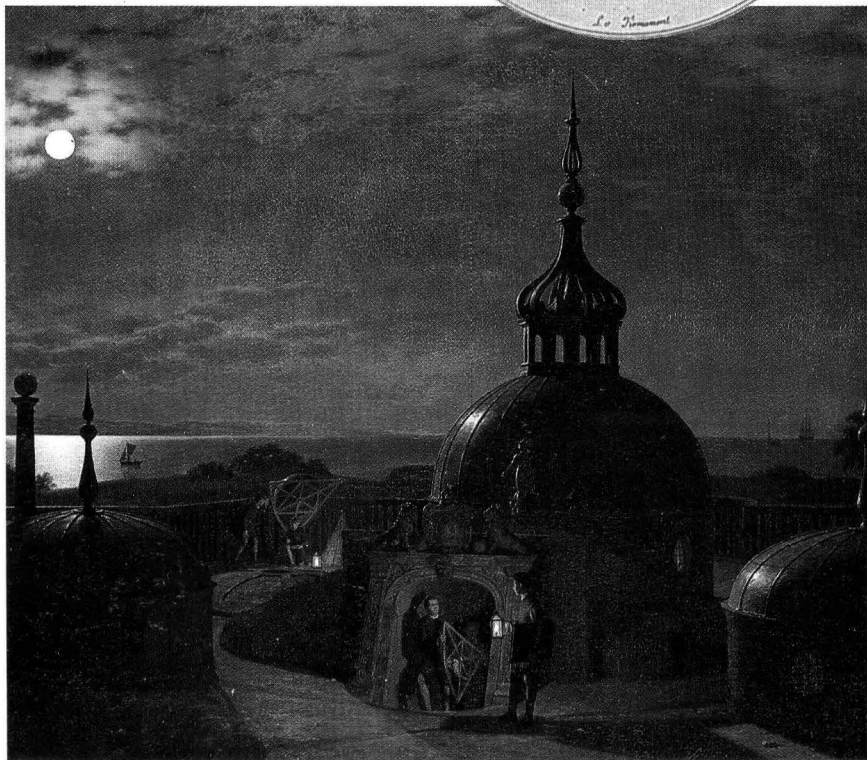
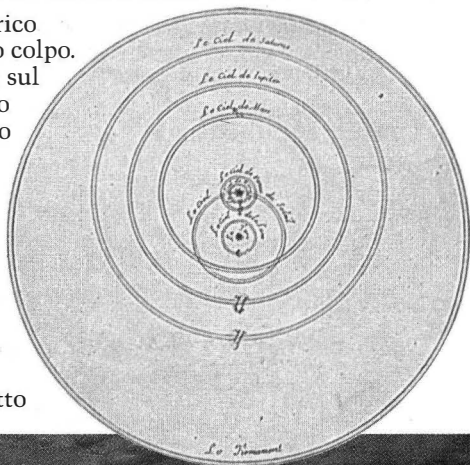
La rivoluzione copernicana

Per oltre due millenni la Terra occupa stabilmente il centro dell'universo. Le teorie degli antichi sono corroborate dai testi sacri, in particolare dal biblico "Fermati, o Sole!" di Giosuè. Nel 1543, però, l'ecclesiastico polacco Niccolò Copernico (1473-1543) pubblica *Sulle rivoluzioni delle sfere celesti*, libro che innesca una rivoluzione intellettuale dei cui esiti risentiamo ancora oggi. Copernico assegna al Sole la tradizionale centralità della Terra; quest'ultima, afferma, compie il suo viaggio annuo intorno al Sole né più né meno degli altri pianeti.

Il sistema eliocentrico di Copernico penetra a fatica nella coscienza scientifica e popolare. Nella pagina a fronte, il frontespizio del *Nuovo Almagesto* (Riccioli, 1651): il sistema geocentrico di Aristotele giace ai piedi della personificazione dell'astronomia, mentre la sua bilancia, che pesa i sistemi di Copernico e di Tycho Brahe, pende a favore di quest'ultimo.

Nei primi del Settecento, Copernico trionfa: il Sole troneggia in mezzo ai segni dello zodiaco (sopra). Come mai Copernico non si attira le folgori della Chiesa, che difende strenuamente l'universo geocentrico? Perché, essendo un ecclesiastico, prende le sue precauzioni: nella prefazione delle *Rivoluzioni*, presenta il proprio sistema come un modello matematico e non come una verità scientifica. E la Chiesa pare accontentarsi della spiegazione.

La teoria dell'universo eliocentrico infligge all'orgoglio umano un duro colpo. L'uomo viene a perdere l'egemonia sul cosmo. Non è più il figlio prediletto di Dio, poiché l'universo non è nato a suo esclusivo uso e consumo. La Terra diventa un' "alta sfera" come tutti gli altri pianeti. Ma, poiché il nostro pianeta è imperfetto e mutevole, forse ciò significa che Aristotele, "maestro di color che sanno", si è sbagliato, e che l'effimero regna anche nel mondo celeste...

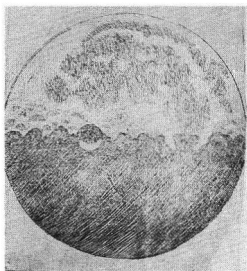
L'universo precopernicano è fatto

a misura del sistema solare: la sfera esterna delle stelle è appena più lontana di quella di Saturno. Con Copernico il cosmo si dilata enormemente, riducendo in proporzione le dimensioni e l'importanza della Terra. Infatti, se è vero che il nostro pianeta ruota e le stelle stanno ferme, la loro sfera esterna deve essere lontanissima, perché, nonostante il moto annuo della Terra intorno al Sole, la distanza tra una stella e l'altra appare pressoché inalterata. Ora, una stella vicina osservata in due diversi momenti della rivoluzione terrestre dovrebbe mutare sensibilmente di posizione in rapporto alle stelle lontane, mentre la variazione è appena percepibile. Copernico ne deduce che le stelle sono remotissime da noi.

Per mettere Tycho Brahe in grado di proseguire le sue ricerche, il re Federico II di Danimarca gli offre l'intera isola di Hveen, presso Copenhagen, ove sorge ben presto l'osservatorio di Uraniborg, in danese "villaggio del cielo" (a fronte, a sinistra, la dipendenza di Stjerneborg, "villaggio delle stelle"). La cupola protegge la sala di osservazione, sotterranea. Gli assistenti di Tycho si preparano a trascorrere una notte insonne: il primo tiene in mano un quadrante (il telescopio non esiste ancora). Uraniborg è il primo osservatorio d'Europa; Tycho, che vi studia tra l'altro la famosa cometa del 1577 (sopra), propone un modello di universo a metà strada tra il sistema eliocentrico di Copernico e quello geocentrico di Aristotele. I pianeti girano intorno al Sole; ma il Sole, con il suo corteo di pianeti, gira intorno alla Terra proprio come la Luna (a fronte, sopra).

Perché i pianeti non cadono?

Il danese Tycho Brahe (1546-1601) prosegue la rivoluzione copernicana e perfeziona, seppure ancora a occhio nudo, le osservazioni astronomiche. Nel 1572 vede comparire nella costellazione di Cassiopea una nuova stella, tanto luminosa da essere visibile anche di giorno per un mese intero. Deve trovarsi ben oltre le sfere planetarie, ne arguisce Brahe, perché, a differenza dei pianeti, non muta posizione rispetto alle stelle lontane. Il cielo è cambiato: l'immutabilità aristotelica vacilla sempre più. Oggi si sa che la nuova stella era una supernova, cioè l'immane esplosione che decreta la morte di una stella: in pochi giorni l'agonia del gigantesco corpo celeste, situato nella Via Lattea, liberò l'energia di miliardi e miliardi di soli.

La fede aristotelica nella perfezione delle "alte sfere" viene rimessa in dubbio nel 1577, quando

Galileo Galilei, considerato a buon diritto il padre della fisica sperimentale, esordisce con lo studio del moto di caduta dei gravi, dimostrando che tutti gli oggetti che cadono verso il suolo sono dotati della stessa accelerazione, del tutto indipendente dal peso. Senza la resistenza opposta dall'aria, una piuma e una palla di cannone gettate contemporaneamente dall'alto di una torre toccherebbero terra nello stesso istante. Nel 1609 Galileo osserva le fasi lunari (rilevate con precisione nel disegno a sinistra, opera dello scienziato). Scopre inoltre le fasi di Venere, giungendo alla

conclusione che anche quel pianeta orbita necessariamente intorno al Sole.

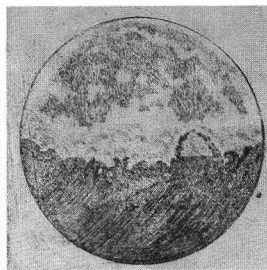
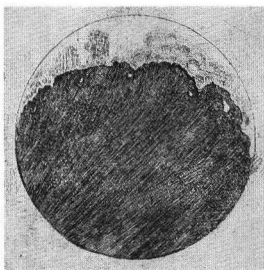
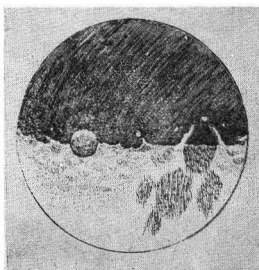
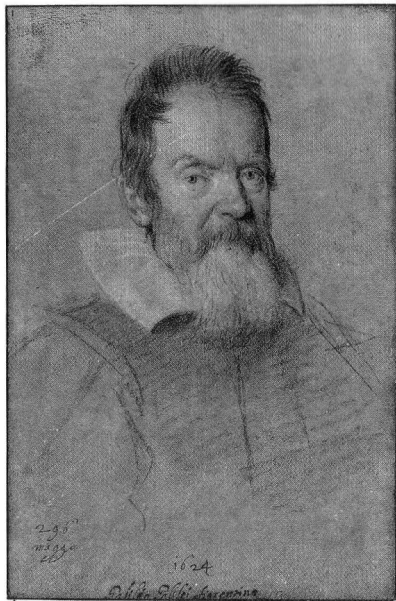
compare una grande cometa. Le comete sono passate finora per fenomeni atmosferici terrestri, proprio come gli arcobaleni, ma ora Tycho Brahe dimostra che si tratta di un'assurdità: poiché la cometa si muove rispetto alle stelle lontane, è molto più vicina alla Terra della supernova; ma il suo moto è assai minore di quello lunare, per cui deve trovarsi ben oltre la Luna. L'astro appartiene quindi alla regione delle sfere planetarie.

Tycho rileva inoltre che l'orbita della cometa non è circolare, bensì ellittica, e ciò rimette in

crisi l'idea di perfezione implicita nella circolarità dei moti celesti. C'è di più: se l'orbita della cometa fosse ellittica, dovrebbe attraversare le sfere planetarie. Una pura assurdità. Il danese deve quindi concludere che le sfere celesti di materia solida e trasparente sono un parto dell'immaginazione.

Ma, se i pianeti non sono inseriti nelle sfere, perché non cadono? Che cosa li trattiene nel cielo?

Galileo riconcilia cielo e Terra

Galileo Galilei (1564-1642) liquida l'idea aristotelica secondo cui la Terra e i cieli sono retti da leggi naturali differenti, per cui il moto sulla Terra è rettilineo e i moti celesti circolari. Secondo lo scienziato toscano, tra cielo e Terra

esiste una profonda unità, e le leggi che reggono l'universo sono uniche. Grazie all'osservazione e all'esperienza, queste leggi sono accessibili alla ragione umana. Nel 1609 Galileo punta per la prima volta un telescopio verso il cielo. Nella volta stellata ecco altre "imperfezioni": sulla Luna spuntano alte montagne; la superficie del Sole è chiazzata; Giove rivela una corte di quattro satelliti, infliggendo un altro colpo all'idea che tutto giri intorno alla Terra. Nel *Dialogo dei massimi sistemi del mondo* (1632),

Conscio dell'importanza di questa scoperta, Galileo invia subito un messaggio cifrato latino a Keplero: "La madre degli amori (Venere) imita le figure di Diana (la Luna)".

il grande maestro della scienza sperimentale proclama che l'universo è eliocentrico. Entra così in conflitto con la Chiesa: tradotto a Roma, Galileo viene processato per eresia e sfugge al rogo abiurando; il *Dialogo* resta all'indice fino al 1835. Tra religione e scienza è guerra dichiarata.

TABVLA III. ORBIVM PLANETARVM DIMENSIONES,
REOVLARIA CORPORA
ILLVSTRISS: PRINCIPI, AC DNO. DNO.
TENBERGICO, ET TECCIO, COMITI MONTIS

Keplero e Newton enunciano le leggi su cui si fonda ancora l'universo scientifico

Nel 1606 il tedesco Giovanni Keplero (Johannes Kepler, 1571-1630) fa luce sul mistero dei moti celesti grazie alle osservazioni dei moti planetari lasciate da Brahe. I pianeti non seguono più una traiettoria circolare – la forma orbitale perfetta secondo Aristotele – bensì ellittica. Inoltre, non procedono a velocità costante, come avrebbe voluto lo Stagirita, ma accelerano quando si avvicinano al Sole e rallentano nel discostarsene.

Tuttavia, le leggi matematiche dei moti planetari enunciate da Keplero non risolvono il problema che Brahe si era posto sopprimendo le sfere planetarie: che cosa mantiene i pianeti nella loro orbita? Perché non cadono verso il Sole? Perché girano intorno al Sole se a spingerli non sono più gli angeli?

Nel 1666 l'inglese Isaac Newton (1642-1727) risponde a queste domande e sopprime per sempre la distinzione aristotelica tra cielo e Terra. La caduta di una mela matura in un orto e il moto della Luna intorno alla Terra sono dovuti a una

Prima di scoprire le leggi planctarie, Keplero pensa chc il mondo sia governato dalla gcometria: lc sfcre dei sei pianeti (Mercurio, Nettuno e Plutone non sono ancora stati scopcrti) devono essere incastrate nei cinque solidi perfetti – per esempio il cubo – di Platone e di Pitagora (sopra, un disegno tratto dal suo *Mistero cosmico*).

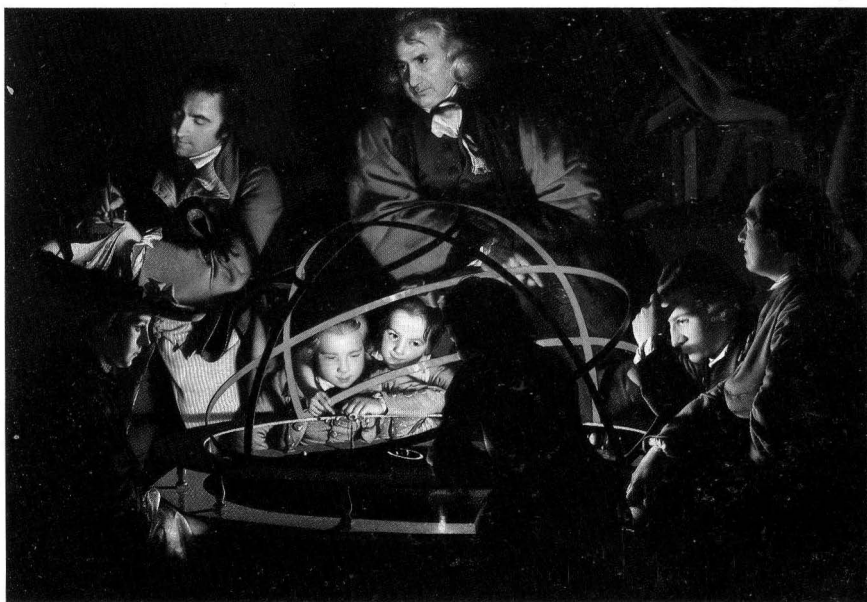
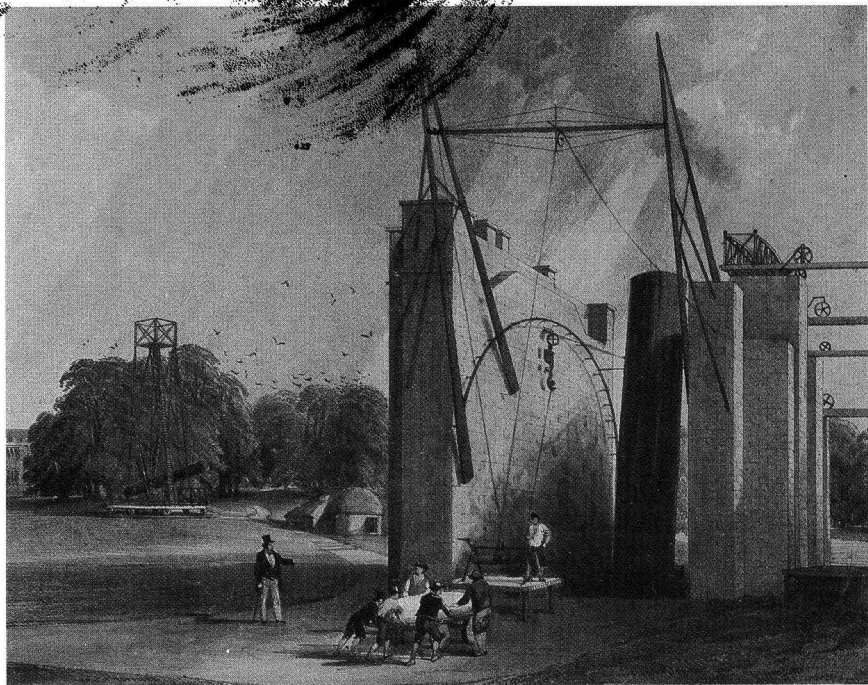
ET DISTANTIAS PER QVINQVE GEOMETRICA EXHIBENS.

FRIDERICO, DVCI WIR-BELGARVM, ETC. CONSECRATA.

sola e medesima forza: la gravitazione universale. Proprio come una mela lanciata in aria non ha bisogno di interventi esterni per proseguire nella propria traiettoria, così la Luna non ha bisogno di angeli che la spingano lungo la sua orbita.

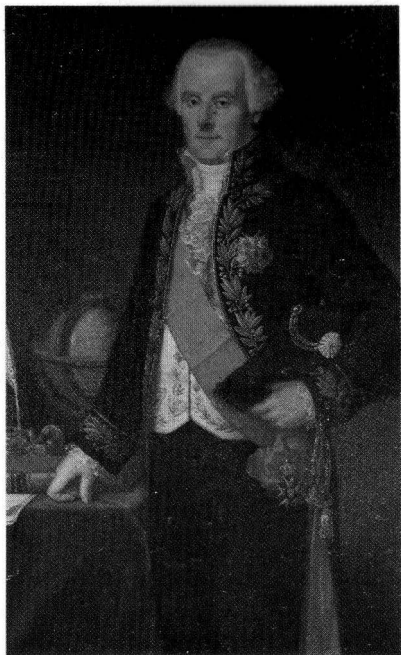
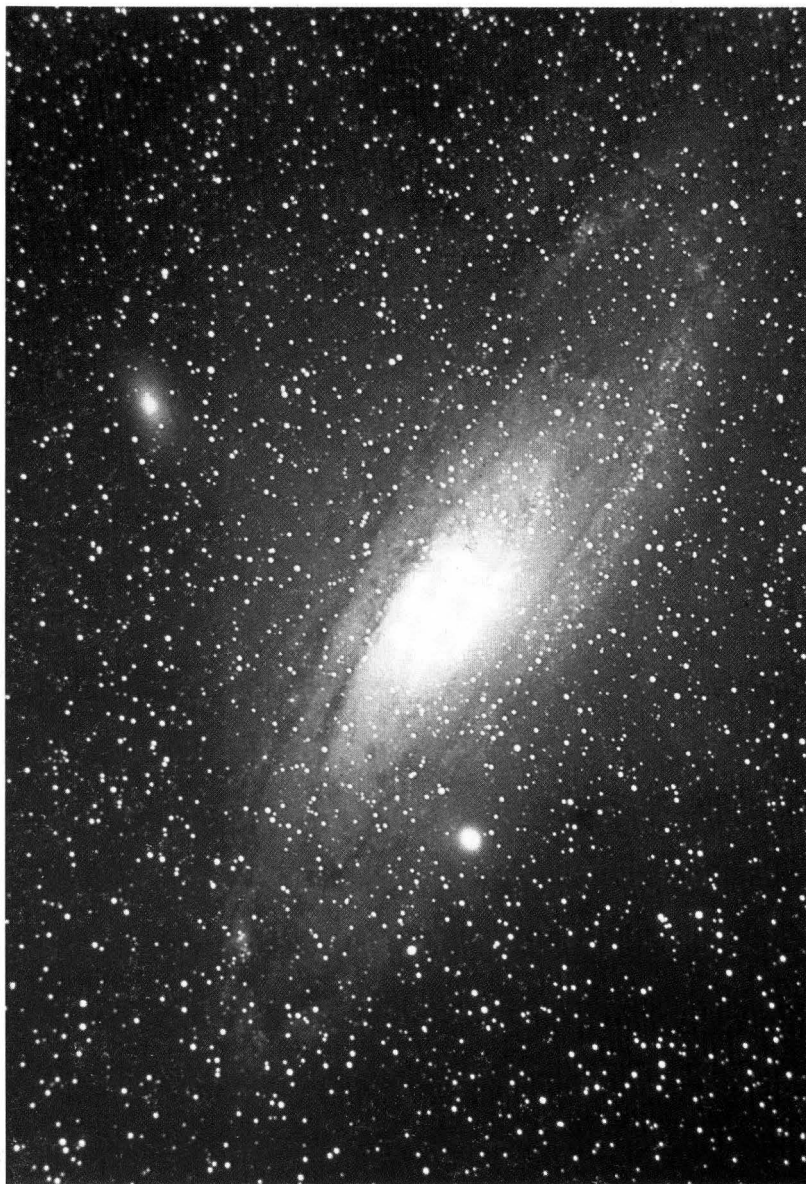
L'ipotesi teologica non è più necessaria

Secondo Newton, un cosmo retto dalla gravitazione universale deve essere infinito. Se fosse limitato, esisterebbe un centro verso il quale la forza di gravità attrarrebbe tutte le parti dell'universo per formare una grande massa; cosa, però, che è smentita dall'osservazione. L'universo newtoniano funziona come un meccanismo a orologeria. È deterministico: ogni cosa è retta da rigide leggi

Grande è l'interesse degli inglesi del Settecento per l'universo meccanico di Newton. In basso, *Il planetario* (1766), dipinto di Wright; qui sotto, il telescopio a riflessione appartenuto a Isaac Newton.

L'astronomo irlandese William Parsons (1800-1867), terzo conte di Rosse, costruisce il telescopio più grande della sua epoca (illustrazione al centro): lo specchio misura 1,80 m di diametro. Con l'aiuto del potente strumento, Parsons scopre le nebulose a spirale e le disegna con efficacia (sopra, la M 51; a fronte, sotto, la M 99) senza tuttavia comprenderne la vera natura.

matematiche. Dio non ha più bisogno di intervenire nelle faccende umane. Dopo aver caricato la "molla" dell'universo, il Creatore-orologiaio assiste da lontano alla corsa delle lancette sul quadrante.

Dio si allontana tanto, che nel Settecento il francese Pierre Simon de Laplace (1749-1827)

decide di eliminarlo. Il deista Napoleone, cui l'astronomo offre una copia della sua *Meccanica celeste*, gli rimprovera di non aver mai menzionato il Grande Architetto dell'universo. E Laplace, asciutto: "Non ho bisogno di questa ipotesi".

Corpuscolo di materia nell'universo infinito, lontano da Dio in un mondo meccanico e deterministico, l'uomo occidentale del primo Ottocento si sente pur sempre il discendente di Adamo ed Eva, creati da Dio per dominare la Terra. Ma, nel 1859, l'inglese Charles Darwin (1809-1882) pubblica *Sull'origine delle specie* e sembra mandare in frantumi anche l'ultima illusione. Il re del creato discende addirittura dalla scimmia attraverso una lunga catena che ha per anelli i rettili, i pesci e i microrganismi primordiali. L'evoluzione biologica si è compiuta in molto tempo: secondo la geologia, in miliardi di anni, e non nei biblici ottomila o poco meno che Keplero e Newton, cristiani ferventi, assegnavano all'universo. Dopo essersi ingrandito nello spazio, l'universo si dilata anche nel tempo.

Il marchese de Laplace, brillante matematico, contribuisce alla comprensione dei moti planetari. Avanza una teoria sulla formazione del sistema solare ed è tra i primi ad accennare ai buchi neri, da lui definiti "astri occlusi".

II. IL REGNO DELLE GALASSIE

All'inizio del Novecento l'avvento dei grandi telescopi consente di esplorare il cielo in modo sistematico. Così, il Sole si perde tra i cento miliardi di stelle della Via Lattea. La quale si perde, a sua volta, tra le centinaia di miliardi di galassie che popolano l'universo.

La galassia di Andromeda (a fronte) si trova a 2,3 milioni di anni luce dalla Terra ed è visibile a occhio nudo nelle belle notti invernali. Ha la parte centrale costituita di stelle gialle e vecchie, mentre i bracci della spirale sono composti di giovani stelle azzurre. In alto e in basso, due galassie nane satelliti. A fianco, il radiotelescopio gigante americano VLA (*Very Large Array*), composto di 27 radiotelescopi, ciascuno dei quali ha un diametro di 25 metri. Sono disposti a Y. Ogni braccio della lettera è lungo 21 chilometri, donde il suo nome (in inglese, *Very Large Array* significa "spiegamento vastissimo").

La luce è il mezzo di comunicazione principale tra l'uomo e l'universo. Le particelle che la compongono trasmettono le informazioni alla velocità di 300.000 chilometri il secondo, la massima possibile nel cosmo.

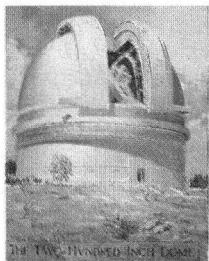
L'occhio nudo ha i suoi limiti: è un ricettore di luce troppo piccolo e non può trattenere a lungo le immagini che capta. Per sua natura, il cervello umano deve rinnovare l'immagine trasmessa dall'occhio ogni 0,03 secondi: dunque, l'occhio nudo distingue solo gli oggetti molto luminosi e vicini. L'universo remoto gli sfugge completamente.

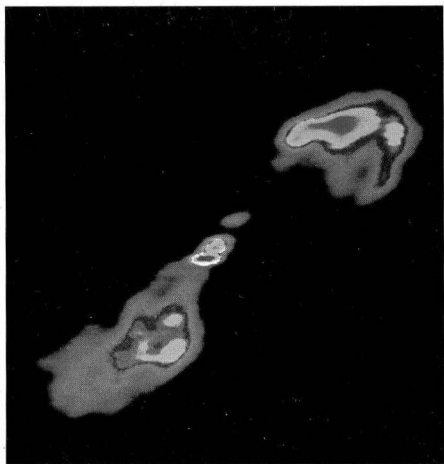
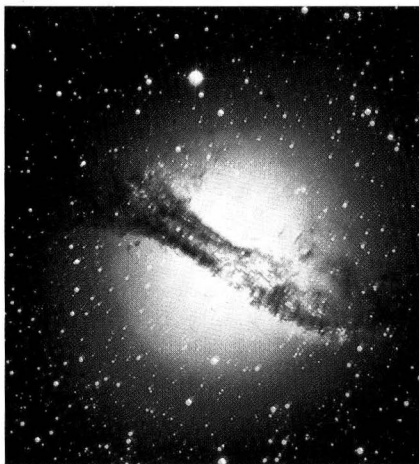
La tecnologia moderna ha rivoluzionato il lavoro dell'astronomo. I telescopi sono stati automatizzati. I tempi in cui il puntamento e l'apertura della feritoia sulla cupola si facevano a mano (sotto, illustrati in un disegno settecentesco) sono finiti per sempre. L'immagine romantica dello studioso seduto nell'oscurità, con l'occhio incollato al telescopio, in lotta contro il freddo e il sonno, resta solo un ricordo.

Dal "cannone occhiale" di Galileo al radiotelescopio

I telescopi presentano diversi vantaggi. La loro grande superficie capta molta più luce dell'occhio umano; la loro struttura li mette in grado di fissare un oggetto per un tempo indefinito; possono distinguere oggetti poco luminosi e molto distanti dalla Terra, svelando la profondità dei cieli; ingrandiscono le immagini, che così appaiono più particolareggiate.

La prima generazione è costituita dai telescopi a rifrazione, che, come gli occhiali, convogliano la luce per mezzo di una lente; purtroppo, però, non possono superare il metro di diametro, perché lenti ancora maggiori risulterebbero troppo spesse e pesanti. Ecco allora la seconda generazione, quella dei telescopi a riflessione: la luce è captata da un grande specchio a forma di paraboloide (così si chiama la superficie curva generata dalla rotazione di una parabola intorno al proprio asse). Nel 1908 ne viene

Il telescopio gigante a riflessione Hale (dal nome del suo costruttore) si trova sul monte Palomar, in California (a sinistra). Come tutti i telescopi moderni, è comandato da un potente calcolatore. Una volta puntato il telescopio, l'immagine dell'oggetto celeste studiato compare, ingrandita migliaia di volte, su uno schermo televisivo. La cupola del telescopio (sotto) si trova a un'altezza pari a quella di un palazzo di dieci piani.

costruito uno di 1,50 metri di diametro, nel 1922 un altro di 2,50 metri: installati entrambi nell'osservatorio di Mount Wilson (California meridionale), rivoluzionano la nostra concezione del cosmo. Nel 1948, sulla vetta del monte Palomar – alto rilievo della California meridionale – viene inaugurato un "mostro" di 5 metri. Ma nel 1976 entra in servizio, su una montagna del Caucaso, un telescopio a riflessione di 6 metri, di costruzione sovietica.

Dotato di una strumentazione modernissima, il telescopio di monte Palomar consente di scorgere oggetti 40 milioni di volte meno luminosi

della stella più fioca visibile a occhio nudo. Oggi esiste, sparsa qua e là nel mondo, una quindicina di telescopi di diametro superiore ai 3 metri: sono appollaiati sulla vetta delle montagne più lontane dal mondo civile, dall'Arizona alle Hawaii, dal Caucaso al Cile, e ogni notte serena volgono i loro specchi verso il cielo per intercettare i messaggi luminosi del cosmo. E non hanno finito di crescere: già si profilano all'orizzonte colossi di 10 o 15 metri di diametro, che permetteranno di vedere dieci volte più lontano del telescopio di monte Palomar.

Il grande telescopio europeo (*Very Large Telescope*, VLT) sarà composto di quattro telescopi di 8 m di diametro, equivalenti a un unico telescopio di 16 m. Il loro specchio potrà essere deformato a volontà. Sotto, un modellino dello strumento.

Catturare la luce non basta: bisogna imprigionarla

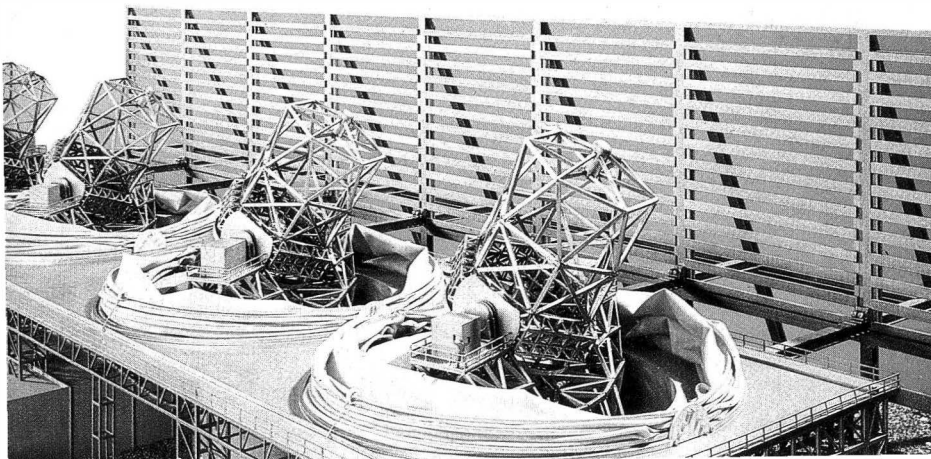
I primi astronomi dovevano accontentarsi dei disegni delle loro osservazioni. Ma nel 1826, grazie all'invenzione della lastra fotografica da parte di Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833), si può fissare l'immagine di migliaia di stelle su una sola lastra di vetro. Gli scienziati cominciano a fotografare sistematicamente il cielo. I telescopi, già capaci di vedere anche gli astri meno luminosi, migliorano le loro prestazioni in quanto le lastre sono in grado di accumulare la luce per ore e ore su una grande superficie. Le lastre escono di scena solo negli anni Settanta, quando sono sostituite da

rivelatori elettronici talmente sensibili da registrare in mezz'ora la quantità di luce che una lastra raccoglie in una notte.

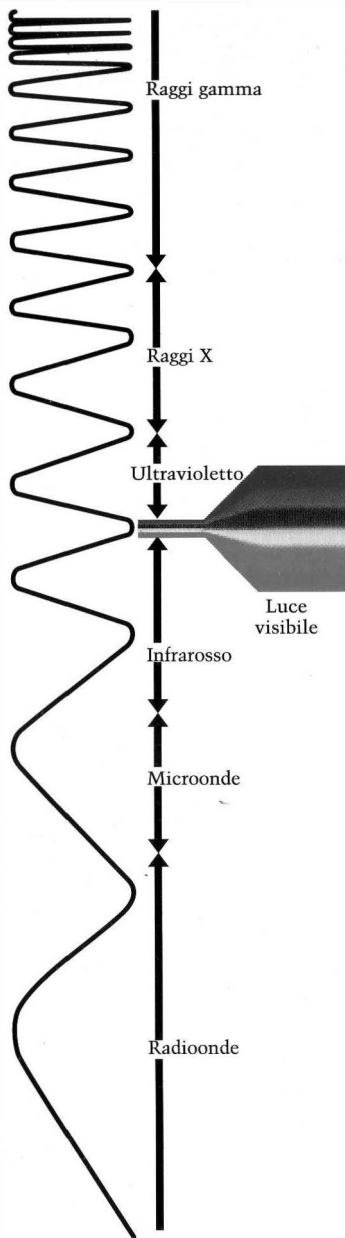
Come le minute stille di pioggia sospese nell'atmosfera scompongono la luce solare nell'arcobaleno, così lo spettroscopio consente di scomporre e di analizzare la luce dei corpi celesti. La spettroscopia, disciplina creata dallo scienziato tedesco Joseph von Fraunhofer (1787-1827), ha svelato la composizione chimica e il moto di stelle e galassie.

I raggi "invisibili"

I telescopi sopra descritti captano la luce visibile, cioè quella parte dello spettro che impressiona il nostro organo visivo. Sennonché tutta una gamma di radiazioni sfugge alla vista umana. Le radiazioni più energetiche sono costituite da raggi gamma e X, capaci, tra l'altro, di attraversare i tessuti

Centauro A è una galassia distante 20 milioni di anni-luce in direzione della costellazione del Centauro. Qui è fotografata alla luce visibile (a fronte), alle radioonde (al centro) e ai raggi X (a fianco). Quella visibile è una bella galassia ellittica attraversata da un'enorme striscia di polvere, che appare scura perché assorbe la luce visibile. La foto a radioonde mostra due "getti" allungati che partono dal centro della galassia visibile e sono in posizione perpendicolare rispetto alla striscia di polvere. L'immagine a raggi X rivela un centro brillante con un solo getto diretto verso il basso. Gli astronomi ritengono che questi getti radio e X provengano da un immenso buco nero situato nel centro della galassia visibile.

organici (non a caso i raggi X servono a fare le radiografie). Seppure meno energetici, gli ultravioletti possono ustionare l'epidermide – e magari provocare un melanoma – per eccesso di esposizione alla luce solare. Vengono poi, in ordine decrescente di energia, la luce visibile, gli infrarossi, le microonde (quelle dei forni domestici) e le onde radio, vettori dei programmi radiotelevisivi.

L'evoluzione biologica ha dotato l'uomo di una visione selettiva nei confronti dei raggi che vanno dal violetto al rosso: ciò perché la maggior parte dell'energia emessa dal nostro Sole è di questo tipo. Ma, per dipingere il paesaggio cosmico, l'universo ha sulla tavolozza tutti i raggi possibili. Se gli scienziati si limitassero alla sola luce visibile, avrebbero del cosmo una visione impoverita e distorta. Immaginiamo di diventare da un momento all'altro sensibili a un unico colore, per esempio il rosso: come vedremmo il mondo?

La radioastronomia è nata negli anni Cinquanta, in seguito allo sviluppo di uno strumento difensivo usato per la prima volta nella seconda Guerra mondiale: il radar. I successi dell'astronautica e le imprese spaziali hanno consentito agli astronomi di "satellizzarsi" gli occhi con i telescopi trasportati fuori dall'atmosfera terrestre da palloni, missili e satelliti. In questo modo il cosmo è apparso anche sotto le "luci" in gran parte ostacolate dall'atmosfera terrestre, cioè i raggi gamma, X, ultravioletti e infrarossi.

La Via Lattea, una galassia di 90.000 anni luce di diametro

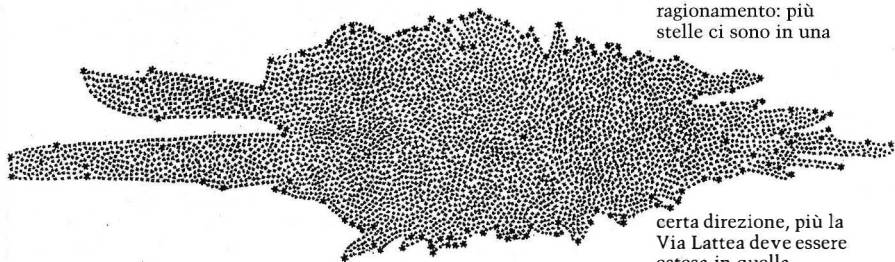
Armati di telescopi, lastre e spettroscopi, gli eredi di Keplero e di Newton partono alla scoperta dell'universo. Hanno in testa parecchie domande: quanto sono lontane dalla Terra le innumeri stelle della Via Lattea? La gran macchia biancastra ha un confine o si estende all'infinito, popolando l'illimitato universo newtoniano di una

Il telescopio spaziale Hubble (2,40 m di diametro) è stato messo in orbita da una navetta spaziale americana nell'aprile del 1990. Avrebbe dovuto consentire di vedere astri 50 volte meno luminosi e 10 volte più dettagliati di quelli osservati dai maggiori telescopi situati a terra. A sinistra, l'immagine sbiadita e imprecisa di un lontano ammasso di galassie ripresa dal telescopio di Palomar; a destra, lo stesso ammasso visto con la precisione che gli scienziati auspicavano con l'*Hubble*. Purtroppo, lo specchio di Hubble ha un grave difetto che lo rende "miope". La NASA spera di correggerlo con un futuro intervento della navetta.

coltre uniforme di stelle? Le risposte non sono evidenti. Sulla volta celeste l'universo ci appare bidimensionale, come un gran paesaggio dipinto senza tener conto della prospettiva. Bisogna quindi svelare il mistero della profondità del cosmo.

Gli astronomi si mettono a misurare le distanze fra Terra e stelle, e fin da principio l'esplorazione in profondità del nostro angoletto di universo dimostra quanto insignificante sia il sistema solare e quanto vuoto lo spazio. Il Sole è a otto minuti-luce da noi; in altri termini, per

raggiungere il nostro occhio la luce dell'astro impiega otto minuti. Le dimensioni del sistema solare si misurano invece in termini di ore-luce – Plutone, il pianeta più lontano dal Sole, si trova a 5,2 ore-luce dalla Terra – mentre le distanze tra le stelle si calcolano in anni luce. La stella più vicina al Sole si trova ad almeno quattro anni-luce. Il cielo è desolatamente vuoto.

Negli anni ottanta del Settecento, l'astronomo anglo-tedesco William Herschel è il primo a tentare di determinare la forma della Via Lattea enumerando le stelle in diverse direzioni della volta celeste. Ecco il suo ragionamento: più stelle ci sono in una certa direzione, più la Via Lattea deve essere estesa in quella direzione. Ottiene così una forma più o meno schiacciata – il che è giusto – ma con i bordi irregolari e con il Sole al centro, il che è falso.

A forza di misurare lo spazio sempre più in profondità, gli astronomi raggiungono i confini della Via Lattea, che, contrariamente a quanto pensava Newton, non si estende affatto all'infinito: è invece un disco di "appena" 90.000 anni-luce di diametro e contiene un centinaio di miliardi di stelle. Poiché ci troviamo alla periferia della galassia e più o meno sul piano radiale del suo immenso disco, la miriade di astri che la compongono ci giunge sotto forma di una gran nube opalescente.

Ormai, le dimensioni del sistema solare si sono ridotte a un miliardesimo di quelle della galassia. Gli sforzi compiuti sono stati prodigiosi, perché l'impresa di misurare l'estensione della Via Lattea dal nostro angoletto terrestre può essere paragonata a quella di un'ameba che riuscisse a calcolare l'estensione del Pacifico. Le stelle del disco perdono la loro immobilità: ormai si sa che girano tutte intorno al centro della galassia.

Sole

L'esilio del sistema solare

Il Sole si è perso tra le centinaia di miliardi di stelle che popolano la Via Lattea. L'uomo, però, si consola pensando che il suo astro sia almeno al centro della galassia. A disilluderlo è l'astronomo statunitense Harlow Shapley (1885-1972), il quale, studiando la ripartizione nello spazio degli ammassi globulari (insiemi sferici ciascuno dei quali è composto di circa centomila stelle legate dalla gravità), scopre che essi occupano un volume sferico intorno alla Via Lattea. Ora, il centro della sfera non corrisponde affatto alla posizione del Sole, ma si trova a circa 30.000 anni-luce da questo, verso la costellazione del Sagittario. Ne deriva che il Sole non sta al centro della Via Lattea, bensì nella remota periferia, a due terzi del raggio del disco galattico, verso il margine.

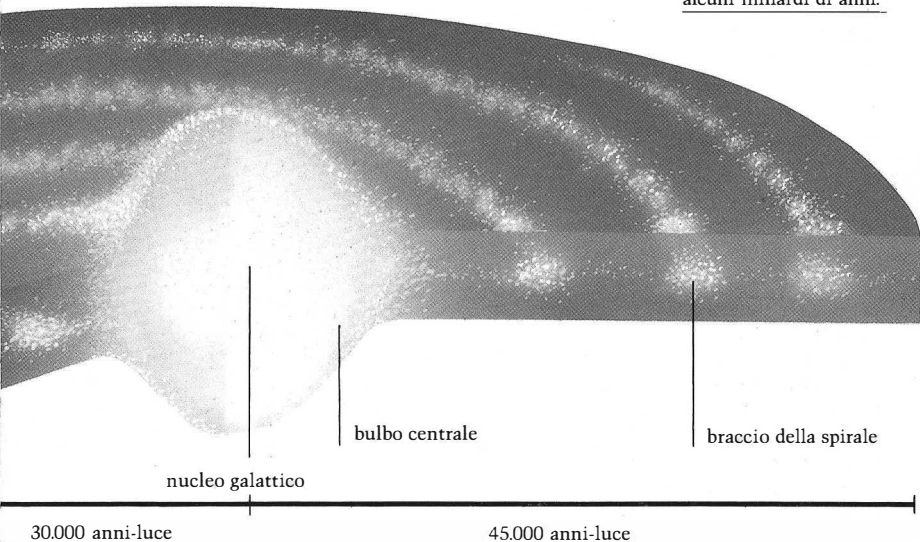
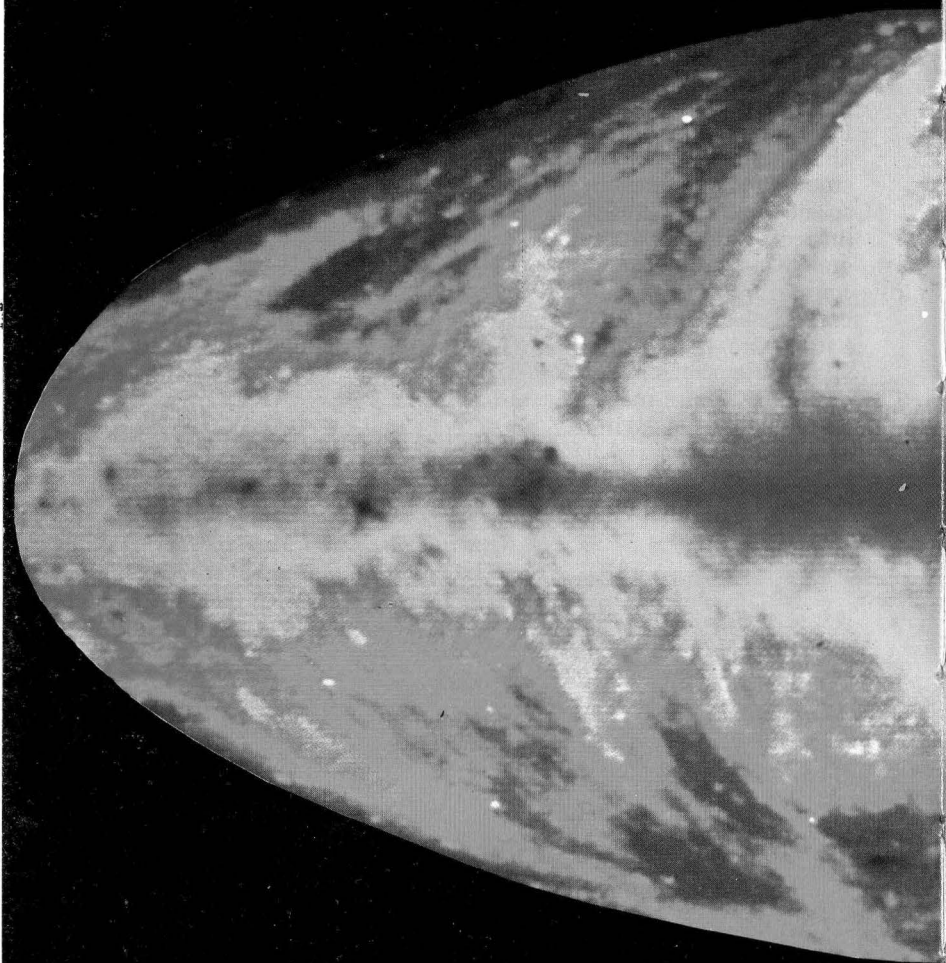
La densità stellare del cuore di un ammasso globulare (sopra) è tanto elevata, che l'ipotetico abitante di un pianeta vedrebbe nel cielo la bellezza di diecimila soli. Sotto: al centro del disco galattico troneggia il bulbo, un ammasso sferico di stelle più vecchie del Sole di alcuni miliardi di anni.

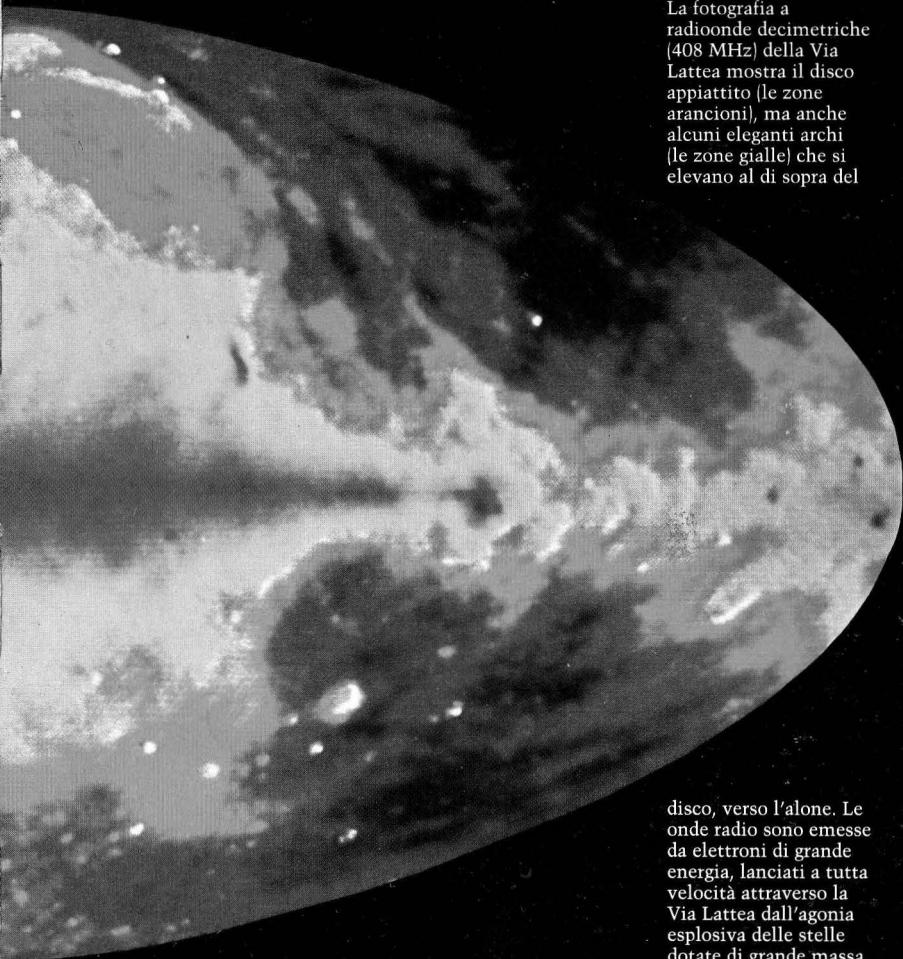
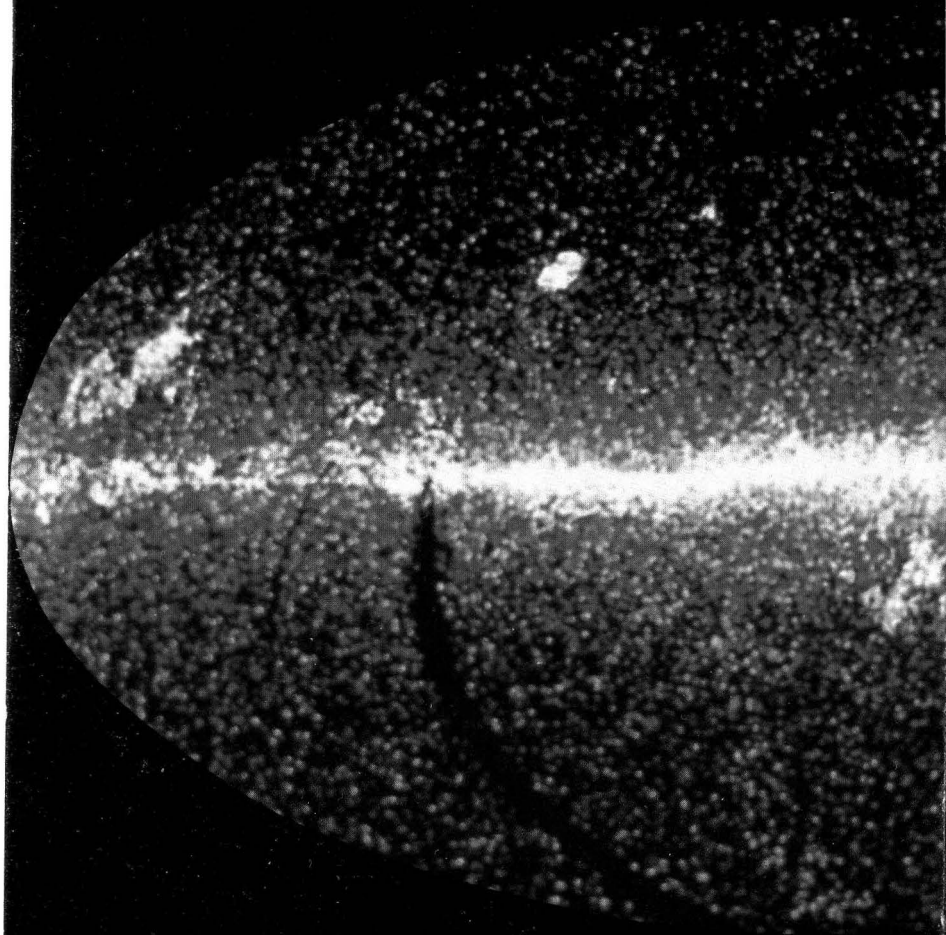
bulbo centrale

braccio della spirale

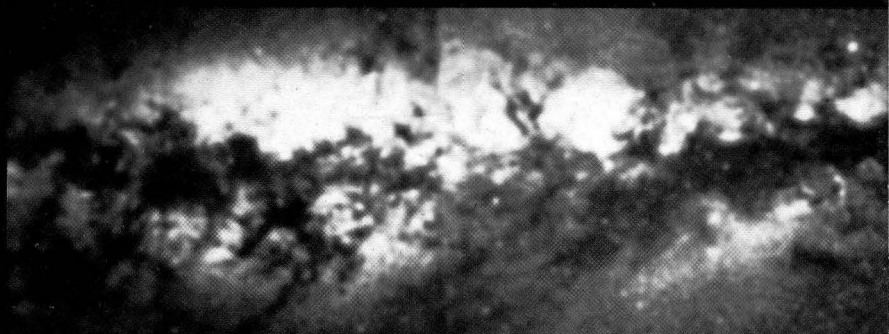
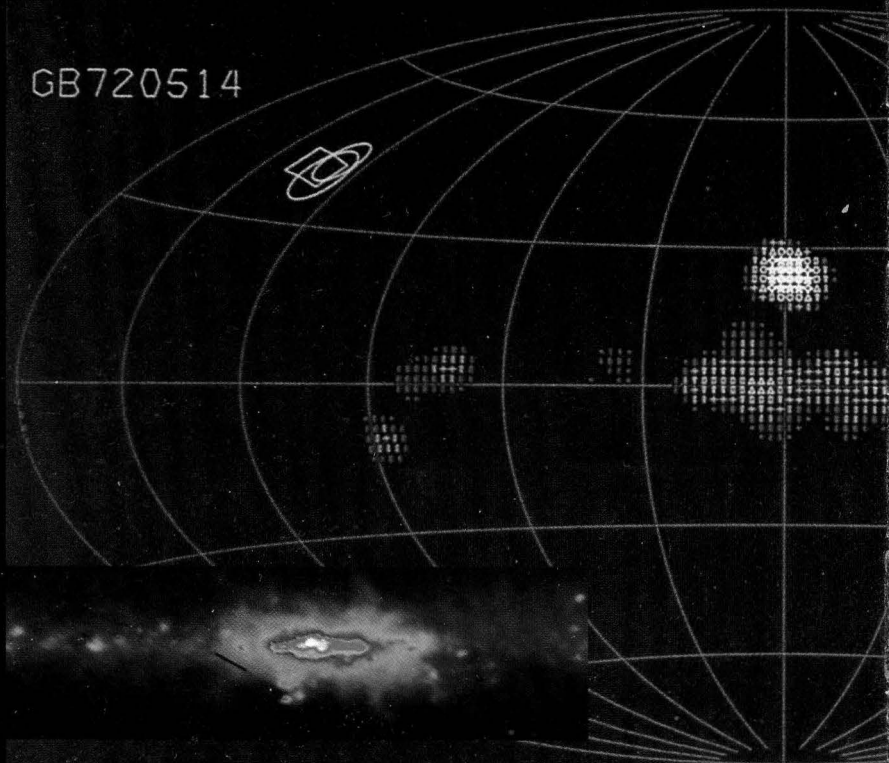
nucleo galattico

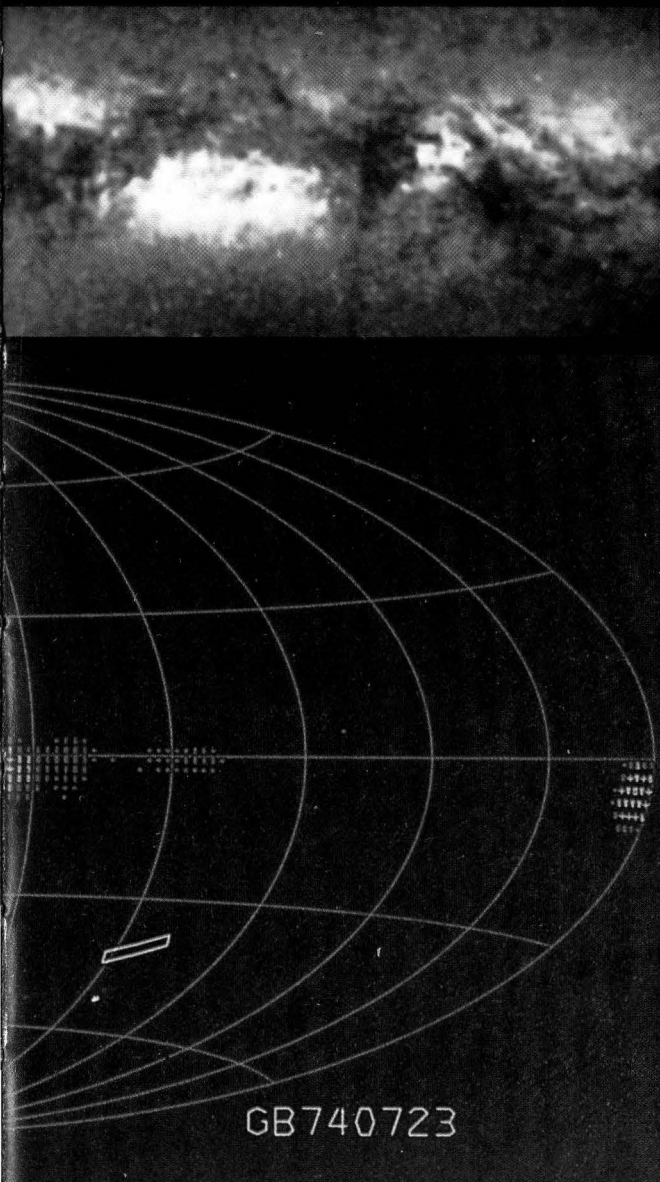
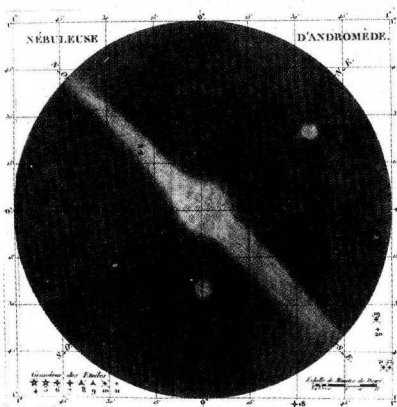
30.000 anni-luce

45.000 anni-luce

La Via Lattea fotografata alle radioonde

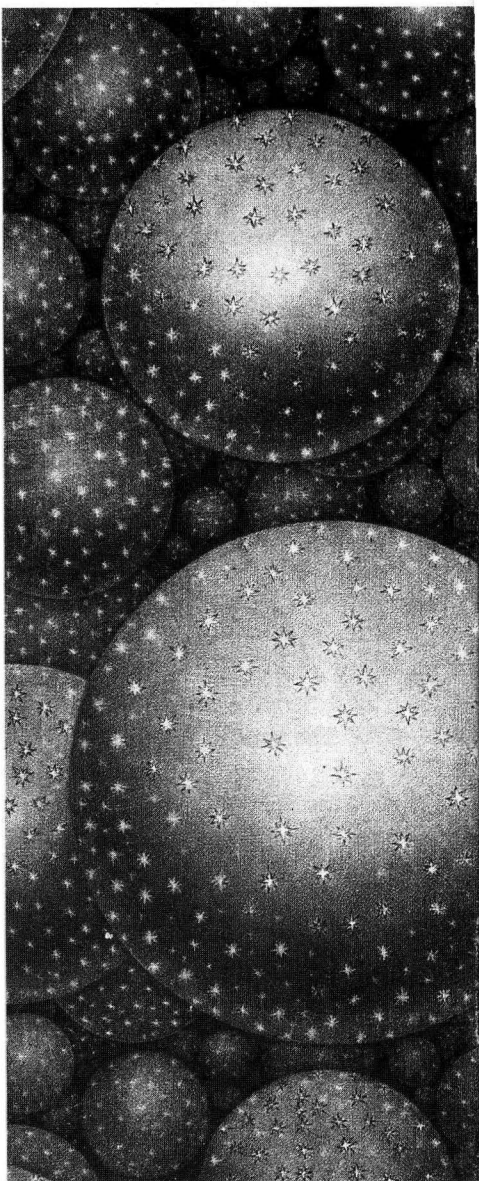
La fotografia a radioonde decimetriche (408 MHz) della Via Lattea mostra il disco appiattito (le zone arancioni), ma anche alcuni eleganti archi (le zone gialle) che si elevano al di sopra del disco, verso l'alone. Le onde radio sono emesse da elettroni di grande energia, lanciati a tutta velocità attraverso la Via Lattea dall'agonia esplosiva delle stelle dotate di grande massa (supernove), che interagiscono con il campo magnetico della galassia.

La Via Lattea fotografata all'infrarosso

Il disco galattico può essere studiato nei dettagli mediante i raggi infrarossi, che non vengono assorbiti dalla polvere interstellare.

I telescopi a raggi infrarossi hanno permesso di esplorare anche i confini della Via Lattea e in particolare il centro della galassia, che dista circa 30.000 anni-luce dal Sole.

GB720514

La Via Lattea fotografata alla luce visibile e ai raggi X

Osservato alla luce visibile (foto sopra), il disco delle stelle (zone chiare) è screziato di zone scure dovute alle polveri interstellari che assorbono la luce delle stelle retrostanti. Proprio queste polveri indussero in errore Herschel sulla forma della Via Lattea. Ignorando l'esistenza delle polveri interstellari, l'astronomo pensava di essersi spinto con il proprio telescopio fino agli estremi limiti della Via Lattea. L'illustrazione in basso raffigura la Via Lattea vista ai raggi X. Questo tipo di radiazione viene emesso solo quando la temperatura della materia raggiunge milioni di gradi. La carta ci informa quindi sui settori della Via Lattea in cui si sono svolti – o si svolgono tuttora – eventi violentissimi. Anche il centro galattico è stato studiato all'infrarosso dal satellite *IRAS* (riquadro piccolo nella pagina a fronte). Qui le stelle sono tanto dense, che la loro luce complessiva è 200 volte più brillante di quella della luna piena. Gli astronomi pensano che nel centro della galassia risieda un buco nero di massa pari a un milione di soli.

Una galassia piccola piccola

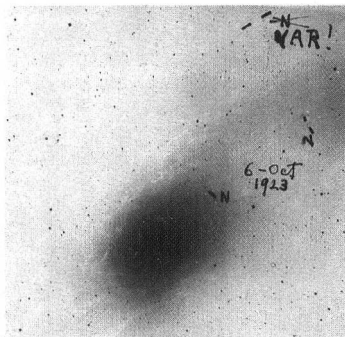
Resta aperta una questione fondamentale: il cosmo finisce con la Via Lattea o no? Esistono altri sistemi simili oltre i confini della galassia? Già nel 1775 il grande filosofo tedesco Immanuel Kant (1724-1804) suppone l'esistenza di altri mondi. Forse, questi "universi-isola" sono le macchie nebulose appena scoperte dall'astronomo anglo-tedesco William Herschel (1738-1822). Altri, invece, pensano che l'universo si riduca alla Via Lattea e che le macchie nebulose facciano parte della galassia. Dopo averne cacciato la Terra e il Sole, si vorrebbe che fosse la Via Lattea a troneggiare al centro del cosmo.

Il dibattito infuria. Finalmente, nel 1923, l'astronomo americano Edwin Hubble (1889-1953) – un avvocato che ha gettato la toga alle ortiche per rispondere al richiamo delle stelle – riesce, con l'ausilio di uno dei telescopi appena installati sul monte Wilson, a misurare la

distanza della grande macchia nebulosa situata nella costellazione di Andromeda: 2.300.000 anni-luce, una cifra corrispondente a circa 25 volte il diametro della Via Lattea! La luce emessa dalla macchia aveva intrapreso il suo viaggio intergalattico quando sulla Terra comparivano i primi uomini...

La nebulosa di Andromeda diventa così sorella gemella della nostra. L'universo si popola all'improvviso di innumerevoli galassie: gli "universi-isola" di Kant prendono corpo. Il cosmo si ingrandisce sempre più; di lì a poco la nostra galassia si perde nell'immensità dell'universo, proprio come il sistema solare si era perduto nell'immensità della Via Lattea, ridotta oggi a nient'altro che uno tra le centinaia di miliardi di sistemi presenti nell'universo.

La classificazione delle galassie

Le galassie non sono tutte uguali. Tre su dieci si presentano sotto forma di macchie nebulose ellittiche, da cui il nome di "galassie ellittiche". Sei su dieci – ivi compresa la nostra e la sua compagna Andromeda – hanno la forma di un disco appiattito

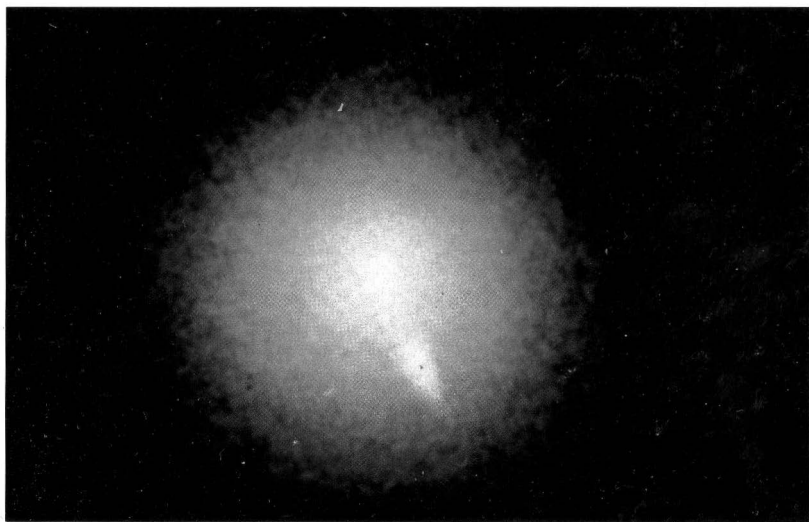
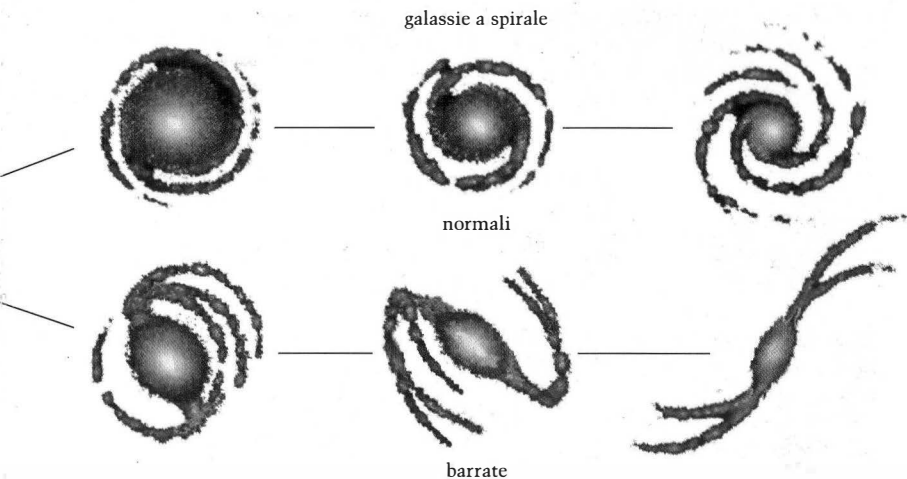
L'astronomo francese Charles Messier, che osserva il cielo sperando di scoprire nuove comete, disegna la nebulosa di Andromeda (pagina a fronte, a sinistra) per il suo celebre *Catalogo delle nebulose* (1771), senza peraltro sospettarne la vera natura. Nella *Nuova teoria dell'universo* (1750), l'inglese Thomas Wright suppone che le "macchie nebulose" siano altre Vie Lattee

di forma sferica (al centro). Edwin Hubble dà fondamento scientifico a questa intuizione: nel 1923 scopre una Cefeide – una stella variabile – nella nebulosa di Andromeda (foto sopra) che gli serve da faro cosmico per determinare la distanza tra la Terra e la nebulosa stessa.

contornato all'esterno da bei bracci spirali. Sono le galassie a spirale. Una su dieci, infine, non ha una forma specifica. Sono le galassie irregolari.

Perché queste differenze? Si pensa che le galassie siano nate per lo più nello stesso tempo, due o tre miliardi dopo la nascita del cosmo. L'embrione di una galassia è una nube di idrogeno e di elio, gli elementi chimici formatisi nei primi tre minuti di vita dell'universo. Questi gas precipitano sotto l'effetto della loro stessa gravità e si frammentano in centinaia di miliardi di bolle. Nel precipitare, la materia di ogni bolla gassosa si comprime e raggiunge una temperatura di decine di milioni di gradi centigradi, scatenando la fusione nucleare dell'idrogeno in elio e liberando vampate di energia. Le bolle gassose si "accendono" e diventano stelle.

Il destino degli embrioni galattici dipende dalla loro capacità di trasformare in stelle la materia

Sotto, schema di Hubble a forma di diapason: sul manico, le galassie ellittiche; sui due bracci, le galassie a spirale. Nel punto di biforcazione tra l'impugnatura e i bracci, una galassia detta lenticolare, che possiede certe proprietà morfologiche delle galassie ellittiche (un alone ellittico) e di quelle a spirale (un disco).

Il Sombrero, nell'ammasso della Vergine (sopra), è un bell'esempio di galassia lenticolare.

gassosa. Alcuni funzionano tanto bene che, nel giro di un miliardo di anni, riescono a metamorfosare in stelle tutta la materia che li compone. Così sono nate le galassie ellittiche, le quali, difettando della materia gassosa necessaria

Le galassie ellittiche sono o sferiche o più o meno appiattite. Si trovano soprattutto nel cuore degli ammassi di galassie.

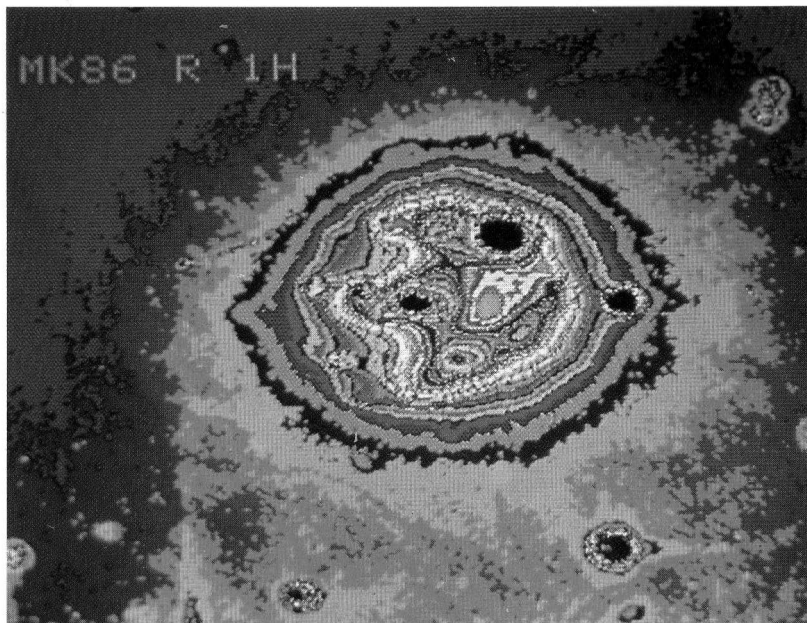
per formare altre stelle, hanno oggi una popolazione di astri vecchi quasi quanto l'universo.

Altri embrioni galattici, più pigri, riescono a trasformare in stelle solo il 90 per cento della loro materia gassosa. Il gas rimanente si appiattisce in un disco sottile, dove la conversione in nuove stelle continua con ritmo più lento; ciò avviene di solito lungo i bracci della spirale che ben presto si formano alla periferia del disco. Questo appare costellato di numerosi "focolai" di stelle, donde il tipico aspetto giovanile delle galassie a spirale.

Un terzo genere di embrione, decisamente tardo, si preoccupa ben poco di convertire in stelle la propria materia gassosa, che dopo quindici miliardi di anni di evoluzione cosmica permane inalterata per un buon 20 per cento. Ecco le galassie irregolari, mille volte meno dense delle galassie a spirale, ma oggi fecondissime di nuove stelle.

Il rivelatore elettronico converte in cifre l'immagine dell'astro. Per mezzo di potenti computer, l'astronomo può trattare l'immagine numerica, eliminarne tutti gli oggetti estranei e ottenere immagini in colori naturali. Sopra a sinistra, la foto rielaborata della galassia a spirale NGC 2997: se ne scorgono bene sia il bulbo sia i bracci della spirale.

Gli incidenti stradali del cosmo

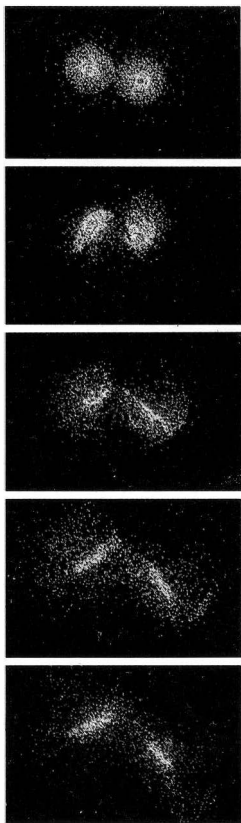
Le galassie sono un miscuglio di innato e di acquisito. L'innato è costituito dalle proprietà "genetiche" (come la forma e la massa) da esse ricevute alla nascita; l'acquisito è ciò che risulta dalla loro interazione con l'ambiente. Infatti, le

galassie non vivono in uno splendido isolamento: la gravità le riunisce in gruppi (di alcune decine) e in *cluster*, o ammassi (di alcune migliaia). Nel cuore degli ammassi, ove la densità delle galassie è elavatissima, le proprietà genetiche di cui si è detto possono venir modificate radicalmente da collisioni galattiche. Il traffico galattico è troppo intenso per non provocare spesso incidenti cosmici.

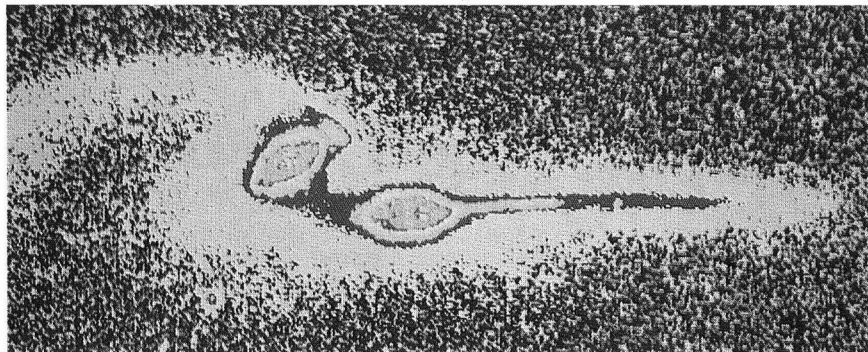
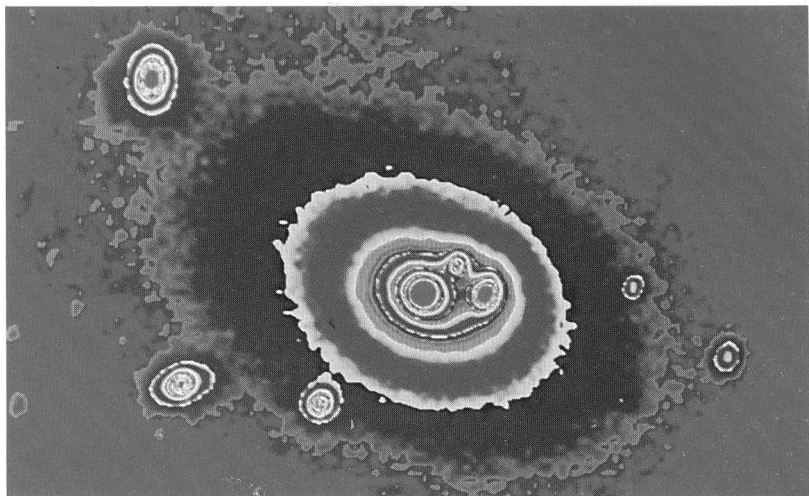
Di solito, la collisione non è diretta. I danni si riducono alla perdita di alcune stelle periferiche delle galassie in collisione, che vengono risucchiate altrove da titanici campi gravitazionali. Nasce allora un mare intergalattico di stelle, in cui le galassie del *cluster* restano come immerse.

Le conseguenze sono più gravi in caso di collisione frontale. Se le due galassie sono a spirale, i loro dischi gassosi vengono scaraventati nello spazio dalla violenza dell'urto. Le due

La galassia a spirale NGC 89 (a fronte, a destra) e la galassia irregolare MKN 86 (sopra) viste in colori artificiali. MKN 86 ha un diametro di circa 15.000 anni-luce e una massa pari a un miliardo di soli; contiene molto idrogeno e lo converte in stelle con una fervida attività. Le zone più scure (in realtà le più luminose) corrispondono a sterminate *nursery* stellari.

galassie si fondono per formarne una più massiccia e più luminosa che, ormai priva di materia gassosa, si trasforma in galassia ellittica. È il destino della Via Lattea: Andromeda la urterà tra 3,7 miliardi di anni. In ogni modo, il sistema solare non ne soffrirà troppo: la collisione diretta del Sole con una stella di Andromeda è assai improbabile.

D'altronde, nel mondo galattico imperversa un cannibalismo sfrenato. Le forze gravitazionali esercitate dalle galassie più grandi e di massa più elevata frenano il moto delle galassie più piccole e di massa inferiore che transitano nei pressi. Queste ultime ricadono con un moto a spirale verso le più grandi, che finiscono col divorarle.

Per studiare le collisioni e il cannibalismo delle galassie, l'astrofisico ricorre a una simulazione al computer. Costruisce due galassie, le lancia l'una contro l'altra e chiede al computer di enunciare il risultato dei calcoli (riferiti, per esempio, a intervalli fissi di 200 milioni di anni). A fianco, una sequenza di cinque immagini che visualizza la collisione di due galassie nell'arco di un miliardo di anni: le galassie si compenetrano in quanto tra le stelle esistono spazi notevoli, in media di tre anni-luce. Determinate forze gravitazionali espellono le stelle dalle galassie, e si formano così lunghe code, simili a quella della galassia detta il "Topo" (sotto). Nell'immagine si distinguono bene i centri delle due galassie entrate in collisione.

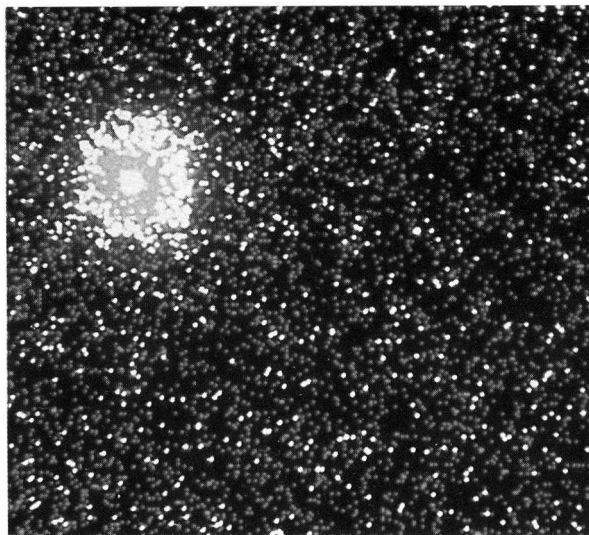
Sopra, una galassia ellittica cannibale nell'ammasso di galassie Abell 2199. L'elaborazione della foto al computer rivela alcuni particolari del centro galattico: le aree brillanti circolari sono resti di galassie non del tutto "digeriti" da quella cannibale.

La straordinaria luminosità dei quasar

"Gli spazi infiniti ove eterno domina il silenzio", che tanto intimorivano Pascal, sono stati invasi dal rumore e dalla frenesia del moto. I nostri telescopi, sensibili all'intera gamma delle radiazioni cosmiche, ci hanno rivelato che nel cuore di certe galassie accadono eventi di violenza inaudita. Il fenomeno più estremo è forse quello dei *quasar*. Il nome quasar è la contrazione di due termini: il latino *quasi* e l'inglese *star*, stella. In effetti, i quasar somigliavano in tutto e per tutto a stelle sperse nella Via Lattea; ma quando gli astronomi hanno misurato la distanza di uno di questi corpi celesti dalla Terra, sono rimasti di sasso: si trovava a circa 13 miliardi di anni-luce.

Come può essere che un quasar si trovi all'altro capo dell'universo e sia ancora luminoso come una stella? C'è una sola possibilità: che emetta una luce di intensità quasi inimmaginabile. Le osservazioni dimostrano che un quasar brilla da solo come una galassia, cioè come un centinaio di miliardi di soli messi insieme. Fatto ancora più stupefacente, quella luce prodigiosa proviene da una regione celeste poco più grande del sistema solare!

Il ventre del buco nero

Come mai in un volume così modesto si genera un'energia tanto prodigiosa? Nessuno sa dirlo con certezza. Ma, secondo molti astrofisici, i quasar sono nati in galassie che celano un mostro nel cuore. Questo mostro sarebbe un ingordo "buco nero" che, con la sua massa pari a circa un miliardo di soli, divora tutte le stelle della galassia ospite che transitano nelle sue vicinanze.

Ma che cos'è un buco nero? È una regione dello spazio in cui la forza di gravità è tale, che neppure la luce, che si propaga con la massima velocità raggiungibile nel cosmo, riesce a sfuggirle. Non potendo emettere radiazioni, il buco risulta "nero". Le sue forze gravitazionali "stirano" le stelle, originariamente sferiche, trasformandole in una specie di spaghetto e riducendole poi in frammenti. Il gas delle stelle distrutte precipita a velocità incredibile nell'abisso spalancato del buco nero. La materia, sottoposta a una straziante sollecitazione, si surriscalda e splende in un'ultima fiammata di energia prima di varcare l'inesorabile

A fianco, immagini ai raggi X del quasar 3C273.
Il quasar è l'oggetto più brillante e più ricco di energia dell'universo. La sua portentosa energia proviene forse da buchi neri dotati di massa enorme, che ingoiano le stelle e il gas delle galassie in cui si trovano. Emette anche grandi quantità di radioonde, di infrarossi, di luce visibile, di ultravioletti e di raggi gamma. Il quasar ha l'aspetto di una stella perché la sua luminosità è tale, da impedire di scorgere la galassia che lo ospita. In astronomia, vedere lontano significa vedere il passato: i quasar mostrano la prima giovinezza dell'universo. La loro presenza rivela che le galassie erano già nate nel secondo miliardo di anni successivo all'esplosione primordiale, il Big Bang. Si sono per lo più estinte, probabilmente per mancanza del combustibile stellare e del gas necessario per alimentare l'insaziabile buco nero annidato nel loro centro.

Sopra, due immagini del centro della galassia ellittica gigante M 87, situata presso il centro dell'ammasso della Vergine, distante circa 50 milioni di anni-luce dalla Terra. Da M 87 parte un getto luminoso lungo 6500 anni-luce. A sinistra, il getto visto alle radioonde, a destra alla luce visibile. Le onde radio del getto sono prodotte da elettroni ricchi di energia, prigionieri del campo magnetico intergalattico. A quanto si ritiene, questi elettroni partono da un buco nero di massa pari a un miliardo di soli, annidato nel cuore di M 87.

imbocco del buco nero, ove le sue emissioni non saranno più visibili. La luce dei quasar è, per così dire, il canto del cigno di questa materia dilaniata, in procinto di sparire per sempre.

Ma i quasar non detengono il monopolio dei mostri cannibali. Altre galassie dotate di centro estremamente luminoso, dette "galassie dal cuore attivo", nutrono anch'esse nel loro seno un buco nero che, sebbene dotato di una massa dalle dieci alle cento volte inferiore a quella dei fratelli maggiori annidati nei quasar, è pur sempre capace di ridurre in spaghetti e di inghiottire le stelle in transito nelle vicinanze. Gli strumenti di osservazione ne captano la fine, annunciata da un'intensa emissione di luci di ogni sorta, dai raggi gamma e X alle onde radio.

La struttura dell'universo

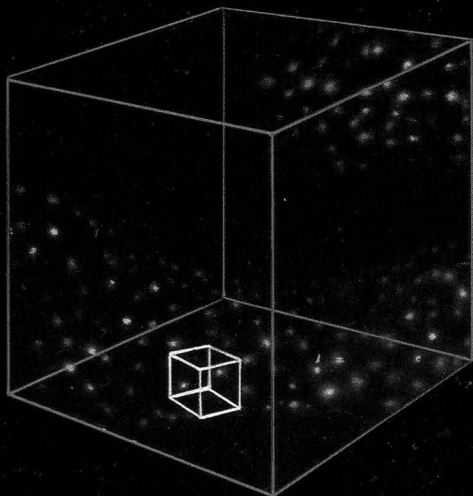
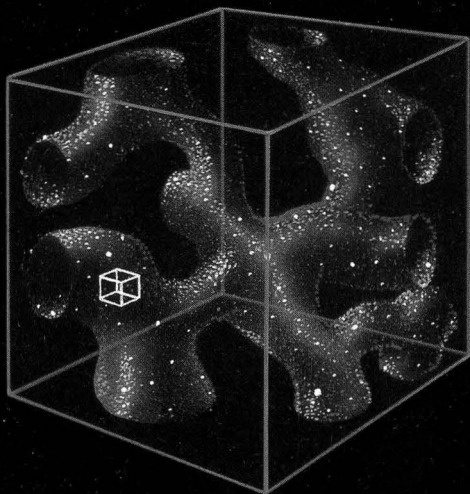
Le galassie si raggruppano in comunità. La Via Lattea fa parte del "gruppo locale", che comprende anche la galassia di Andromeda e una quindicina di galassie nane, tra cui le due Nubi di Magellano.

A
B
C

D

E

Balletto cosmico

L'esplorazione in profondità dell'universo ha svelato quanto sia insignificante il sistema solare e come la Terra partecipi a un fantastico balletto cosmico. Nel sistema solare, del diametro di 10,4 ore-luce, la Terra compie un viaggio annuo intorno al Sole alla velocità di 30 km/s (A). Ma il sistema solare compie a sua volta un periplo intorno al centro della Via Lattea alla velocità di 230 km/s (B). La Via Lattea precipita alla velocità di 90 km/s verso la compagna Andromeda. Entrambe fanno parte di un gruppo locale che si estende per una decina di milioni di anni-luce (C). Il gruppo locale precipita a sua volta alla velocità di circa 600 km/s, attratto dall'ammasso della Vergine nel superammasso locale e quello dell'Idra e del Centauro, estesi circa 60 milioni di anni-luce (D). E il balletto non finisce qui: l'ammasso della Vergine e il superammasso dell'Idra e del Centauro precipitano anch'essi verso un altro grande agglomerato di galassie, soprannominato "il Grande Attrattore". Tutti questi ammassi e superammassi formano gigantesche muraglie e filamenti lunghi centinaia di milioni di anni luce (E).

Questi gruppi di galassie si estendono su una distanza totale di circa 13 milioni di anni-luce (cioè circa 130 volte il diametro di una galassia) e contengono migliaia di miliardi di soli. Se le galassie sono le case del cosmo, i gruppi equivalgono ai paesi. Vengono poi le città, cioè gli ammassi di galassie. Tali *cluster* – diverse migliaia – si estendono su una distanza di circa 60 milioni di anni-luce e contengono varie centinaia di migliaia di miliardi di soli.

Gli ammassi si raggruppano a loro volta in entità più grandi, i *supercluster*, o superammassi.

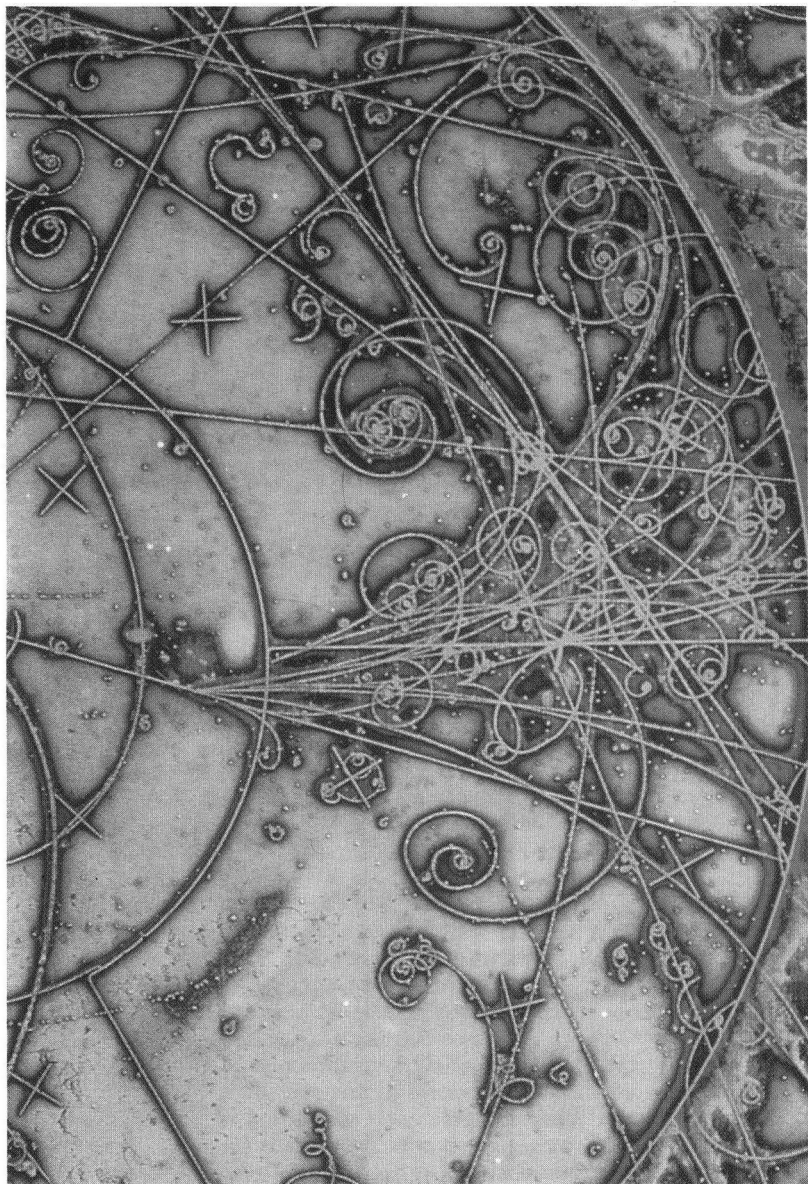
Il centro dell'ammasso della Vergine (a fianco) è un insieme di un migliaio di galassie dislocate a circa 50 milioni di anni-luce dalla Terra. Vi si trovano tutti i tipi di galassia: in basso a destra, una galassia a spirale; verso il centro, le due galassie ellittiche giganti M 84 (tagliata a metà nella foto) e M 86. Nel 1933 l'astronomo americano-svizzero Fritz Zwicky scopre in questo *cluster* la presenza della "massa invisibile". Ecco il suo ragionamento: la massa totale del *cluster* dovrebbe essere decupla della somma delle masse delle singole galassie. Infatti, queste ultime si spostano alla velocità di alcune centinaia di km/s rispetto al centro del *cluster*, che si disintegrerebbe in meno di un miliardo di anni se la sua massa totale (e di conseguenza la sua energia gravitazionale) non fosse tanto forte da impedire alle galassie di disperdersi. Ma allora la materia (invisibile) dispersa nello spazio intergalattico dovrebbe essere nove volte maggiore di quella galattica! A sessant'anni di distanza, il problema della massa invisibile è ancora il dilemma chiave degli astrofisici. Emerge ovunque, nelle galassie nane come nei maggiori superammassi.

Si estendono per centinaia di milioni di anni-luce e ospitano milioni di miliardi di soli. Anche il nostro gruppo locale fa parte del superammasso locale, che contiene una decina tra gruppi e ammassi. Anziché sferici, i superammassi sono a forma di frittatina o di filamento lungo e sottile (stringa cosmica). Lo spessore delle "frittatine" è di circa 40 milioni di anni-luce, mentre il diametro ne raggiunge 200. Le stringhe, invece, possono essere lunghe anche alcune centinaia di milioni di anni-luce.

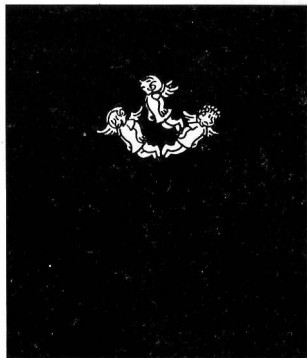
I grandi vuoti cosmici

Ma la scoperta più straordinaria è stata questa: nell'universo esistono grandi regioni vuote, del diametro di decine di milioni di anni-luce e

completamente prive di galassie. Il 90 per cento del volume dell'universo è soltanto vuoto, mentre l'altro 10 per cento è occupato dalle galassie. I vuoti hanno la forma di grandi cavità quasi sferiche, delimitate dalle frittate-superammasso e dai filamenti, e sono interconnessi in una specie di sterminata rete tridimensionale. Uno splendido paesaggio, insomma; o meglio un *patchwork*, un'immensa tappezzeria cosmica di galassie.

La perlustrazione del cielo dimostra che le galassie sono distribuite in lunghi filamenti (sopra): la distribuzione è altrettanto evidente nelle simulazioni dell'universo operate con il computer (in alto).

III. IL BIG BANG

Oggi quasi tutti i cosmologi ritengono che l'universo sia nato da un'immane esplosione avvenuta circa quindici miliardi di anni fa e partita da un punto estremamente piccolo, caldo e denso. In meno di mezzo secolo l'universo statico di Newton è diventato un'entità dinamica, in espansione, mobile quanto violenta.

In una prima fase, l'universo è una specie di immenso acceleratore di particelle elementari, che crea e distrugge spingendole in collisioni di titanica energia. In un acceleratore è possibile visualizzare le particelle elementari immettendole in una camera piena di liquido. Ogni particella interagisce con gli atomi del liquido e lascia sulla propria scia un "rosario" di bollicine gassose: donde il nome di camera a bolle. A fronte, alcune tracce di particelle in una camera a bolle; queste ultime appaiono appiattite dall'intenso campo magnetico.

A scoprire che l'universo si espande è stato l'astronomo americano Edwin Hubble, lo stesso scienziato che ha chiarito la natura delle galassie. Hubble inaugura un nuovo modo di concepire il cosmo. Nel 1929 nota che la maggior parte delle galassie si allontana dalla Via Lattea. Non è una fuga disordinata, poiché la velocità è direttamente proporzionale alla distanza: una galassia due volte più lontana si allontana a velocità doppia, una galassia dieci volte più lontana a velocità decupla. D'altronde il moto è lo stesso in tutte le direzioni, cioè indipendente dal fatto che una galassia si trovi in alto, in basso, davanti, dietro, a destra o a sinistra del nostro sistema.

L'esplosione primordiale, o teoria del Big Bang

Dal rapporto diretto tra distanza e velocità si deduce che, per compiere il tragitto dal punto di origine alla posizione attuale, tutte le galassie hanno impiegato esattamente lo stesso tempo. Rivedendo il film a ritroso, si scopre che 15 miliardi di anni fa tutte le galassie erano riunite in uno stesso punto nello stesso istante. Donde l'idea di una grande esplosione (in inglese, *Big Bang*) che avrebbe

originato l'attuale espansione del cosmo.

Con la teoria del Big Bang l'universo acquista una dimensione storica, fatta di passato, presente e futuro. Non è più eterno, poiché ha avuto un principio. Il concetto di creazione dell'universo, tipico della visione teologica giudaico-cristiana (mutuata anche dal mondo musulmano), trova così un accidentale quanto inatteso sostegno scientifico.

Perché di notte il cielo è nero?

Immerso com'è nella luce artificiale, l'uomo moderno ha perso ogni contatto con la notte primordiale. Tuttavia, nell'universo newtoniano, statico e infinito, quel cielo nero come l'inchiostro, disseminato di stelle tremolanti, poneva un grosso problema: non aveva alcun motivo per essere nero. In effetti, se il cosmo fosse infinito e ricolmo di un numero incalcolabile di stelle e di galassie, dovunque l'uomo posasse lo sguardo dovrebbe sempre imbattersi in una sorgente luminosa: la notte quindi dovrebbe essere chiara come il giorno e non invariabilmente nera. Il mistero è rimasto insoluto fino all'avvento della teoria del Big Bang, che ne ha fornito una spiegazione del tutto naturale: la notte è nera perché le stelle e le galassie non emettono abbastanza luce da rischiararla. Innanzitutto

Gli interrogativi dei cosmologi contemporanei (sopra, Hubble in osservazione al telescopio *Schmidt* di monte Palomar) hanno incredibili analogie con le questioni agitate da san Tommaso d'Aquino, ritratto a fronte, tra Aristotele e Platone. Il tempo e lo spazio hanno un principio o no?

l'universo ha avuto un principio, e il numero di stelle e di galassie la cui luce ha avuto il tempo (quindici miliardi di anni!) di segnalarci la loro esistenza non è infinito. Inoltre le stelle non sono infinite perché muoiono nel giro di alcuni milioni, o meglio di alcuni miliardi di anni.

Nello spazio in espansione le galassie si allontanano le une dalle altre

Tutte le galassie si allontanano dal nostro sistema perché la Via Lattea si trova al centro del cosmo? Di fatto, anche gli ipotetici abitanti di qualsiasi galassia vedrebbero allontanarsi tutte le altre. Se tutto può essere centro, allora nulla è centro.

Per capire come il cosmo possa recitare la parte dell'illusionista, basta prendere un palloncino sgonfio blu o nero e disegnarci sopra tanti pallini con un pennarello giallo o bianco. Soffiandoci dentro, la superficie del palloncino aumenta gradualmente e tutte le stelle (cioè i puntini chiari) si allontanano le une dalle altre. Proprio come i punti disegnati sulla superficie del palloncino, le galassie sono immobili nello spazio: tutto il movimento è dato dalla superficie del palloncino. Altrettanto avviene per lo spazio in

L'espansione del cosmo è illustrata qui sopra dalla superficie di un palloncino che si gonfia e, a fianco e a fronte, dal crescente allontanamento reciproco delle galassie. Continuerà per sempre? Forse, un giorno, il moto di fuga si fermerà perché le forze gravitazionali avranno la meglio sullo slancio espansivo iniziale. Le galassie saranno allora attratte le une verso le altre, finendo col disintegrarsi in un fantastico lampo di luce e di energia. Questo ipotetico Big Bang alla rovescia è il cosiddetto *Big Crunch*, cioè "grande scricchiolio".

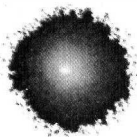
espansione. Come la velocità di fuga delle galassie aumenta in misura direttamente proporzionale alle loro distanze reciproche, così i puntini del palloncino vedranno i loro simili allontanarsi tanto più in fretta quanto più sono lontani. Grazie alla teoria del Big Bang, lo spazio, statico nell'universo newtoniano, diventa dinamico.

Nel nuovo universo non sono le galassie a muoversi in uno spazio immobile; al contrario, è lo spazio in espansione a portare con sé le galassie. Via via che il tempo passa, lo spazio cosmico si ingrandisce. Dopo un'evoluzione di 15 miliardi di anni la distanza tra due galassie qualsiasi è aumentata di un migliaio di volte. Non è che le galassie fuggano dalla Via Lattea: si sfuggono reciprocamente.

Un universo di durata eterna e una creazione continua

Ma la scoperta dell'espansione dell'universo bastava a convalidare la teoria del Big Bang? No di certo, tanto più che gli astrofisici sono conservatori per natura. Negli anni Cinquanta il dibattito tra i fautori della teoria del Big Bang e gli alfieri della teoria dell'universo stazionario assume toni particolarmente aspri. I secondi respingono le nozioni di creazione, di evoluzione e di mutamento impliciti nel Big Bang. Secondo loro, l'universo è stazionario, cioè uguale a se stesso in ogni tempo. E rieccoci al "fissismo" aristotelico dei cieli... Molti cosmologi privilegiano questa teoria, che li dispensa dal problema della creazione dell'universo e dalle sue implicazioni religiose. Ma come possono conciliare l'idea di un universo immutabile nel tempo con il concetto di espansione del cosmo? Se le galassie si allontanano le une dalle altre a velocità costante,

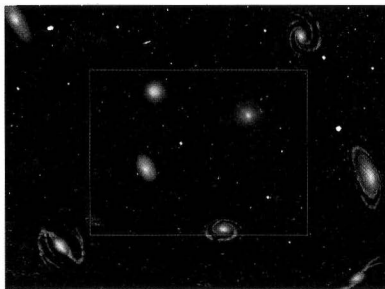
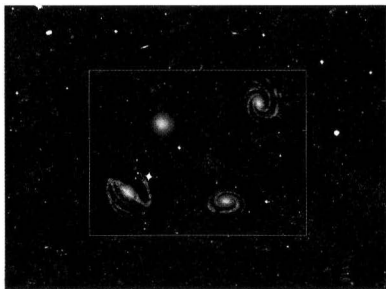
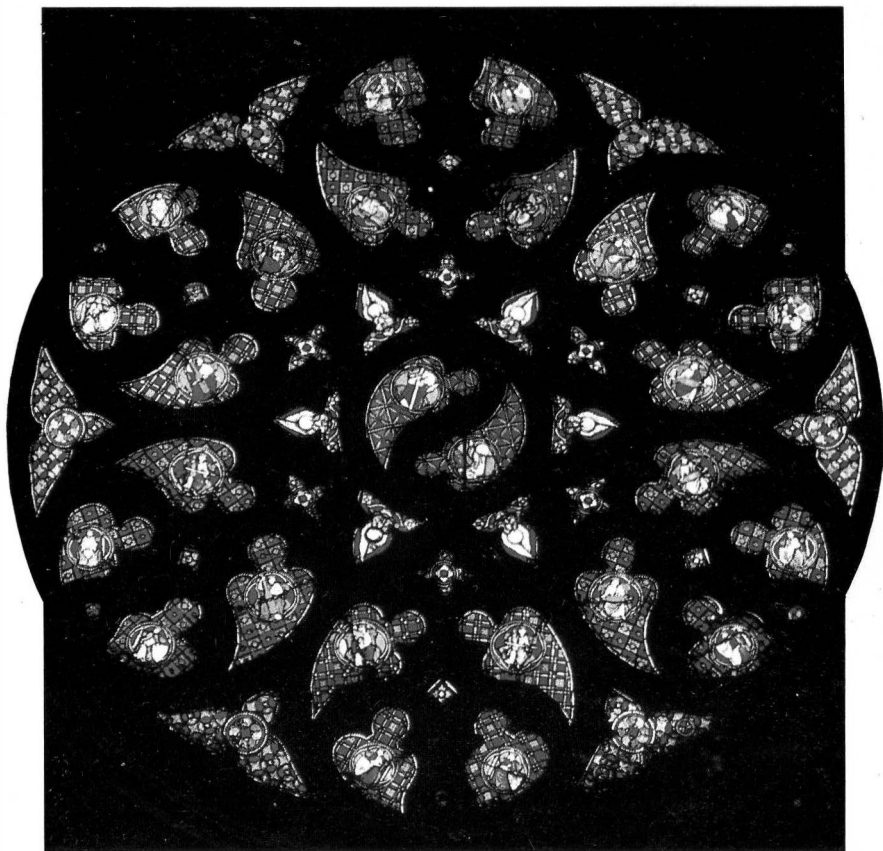
Uno dei modi per prevedere il futuro dell'universo consiste nel calcolarne la densità. Se contiene in media meno di tre atomi di idrogeno per metro cubo di spazio, l'espansione sarà eterna; se ne contiene più di tre, l'universo collasserà. Ma redigere l'inventario completo della materia è davvero improbo, dal momento che esiste una grande quantità di materia invisibile. La materia visibile delle stelle e delle galassie costituisce solo un centesimo della densità critica necessaria per fermare l'espansione del cosmo. Nelle galassie e negli

ammassi di galassie gli astronomi ipotizzano l'esistenza di una quantità di materia invisibile pari al decuplo della massa visibile; in tal caso, la densità totale sarebbe uguale a un decimo della densità critica, e risulterebbe quindi insufficiente a frenare l'espansione.

se lo spazio intergalattico aumenta di continuo, l'universo non può restare uguale a se stesso nel tempo. Bisogna quindi postulare una creazione continua di materia che compensi esattamente il vuoto creato dall'espansione del cosmo. Il tasso di creazione della materia necessario per alimentare l'universo è bassissimo, anzi, quasi impercettibile: ogni miliardo di anni basterebbe aggiungere un atomo di idrogeno a un volume di un litro di spazio. Per evitare la grande creazione, i sostenitori della teoria stazionaria sono dovuti ricorrere a una serie infinita di piccole creazioni.

Le ceneri del fuoco primordiale

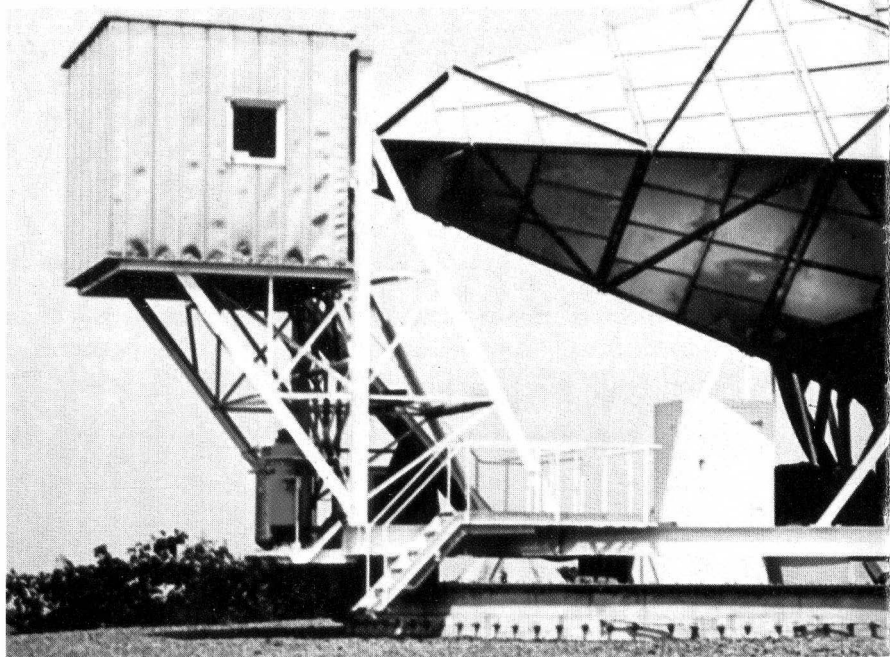
In piena Africa nera, i paleontologi cercano le ossa dei primi uomini, che consentono di ripercorrere la vicenda evolutiva della nostra specie; saltando da un continente all'altro, scavano nelle profondità della crosta terrestre per individuare gli organismi fossili che aiutano a ricostruire la storia della vita sulla Terra. Da parte loro, gli astronomi levano uno sguardo indagatore sull'universo con l'aiuto dei telescopi, vere e proprie macchine del tempo. La propagazione della luce, infatti, non è istantanea: vedere lontano significa vedere indietro nel tempo, e individuare un "fossile cosmico" significa aggiungere una tessera all'immenso mosaico della ricostruzione dell'universo.

La scoperta di una radiazione fossile, che si diffonde in tutto il cosmo e che proviene da un universo di appena 300.000 anni, ha convinto la maggior parte degli scienziati e screditato in modo pressoché definitivo le teorie rivali del Big Bang. Il

Nell'universo in espansione lo spazio è in continua crescita; la densità media delle galassie tende quindi a diminuire. Gli astronomi britannici Hermann Bondi, Thomas Gold e Fred Hoyle, seguaci della teoria dell'universo stazionario, hanno quindi supposto che nascano di continuo nuove galassie; così – e solo così – la distanza media intergalattica può restare invariata (illustrazioni sotto). Nella teoria del Big Bang, il vuoto non è compensato dalla comparsa di altre galassie: è dunque destinato ad aumentare sempre più (addirittura indefinitamente nell'ipotesi che l'espansione dell'universo continui per l'eternità).

fisico russo-americano George Gamow (1904-1968) ne aveva avuto sentore fin dal 1946: un universo in espansione si raffredda e si diluisce col trascorrere del tempo, argomentava; nel passato doveva quindi essere molto più caldo e più denso. Del resto i rapporti di forza tra le due componenti dell'universo, la materia (atomi, stelle, galassie, uomini...) e la luce, dovevano essere inversi quando il cosmo era più giovane. Come insegna Einstein, la materia è energia. La materia domina l'universo attuale con la sua energia, 3000 volte maggiore dell'energia luminosa. Nei primi istanti del cosmo,

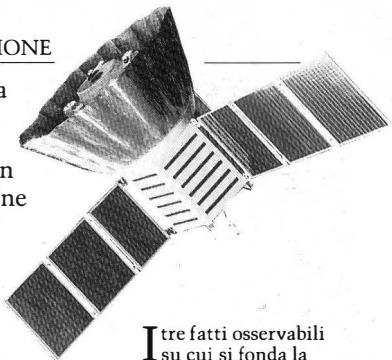
La facciata della cattedrale di Saint-Bonaventure, a Lione, è ornata da un rosone che potrebbe illustrare a meraviglia la teoria del Big Bang. Privo di centro, i suoi vetri dipinti sembrano sfuggirsi reciprocamente come le galassie trascinate nel processo di espansione del cosmo.

tra un secondo e 300.000 anni dall'esplosione iniziale, regnava la luce. Questa, in origine calda e ricca di energia (a 300.000 anni dalla nascita del cosmo possedeva una temperatura di 10.000 °C), continua a giungerci, ma assai raffreddata. Tale raffreddamento, cioè questa perdita di energia, continua Gamow, è dovuto al lavoro compiuto dalla luce nel corso di quindici miliardi di anni per raggiungere la Via Lattea, trasportata lontano dall'espansione

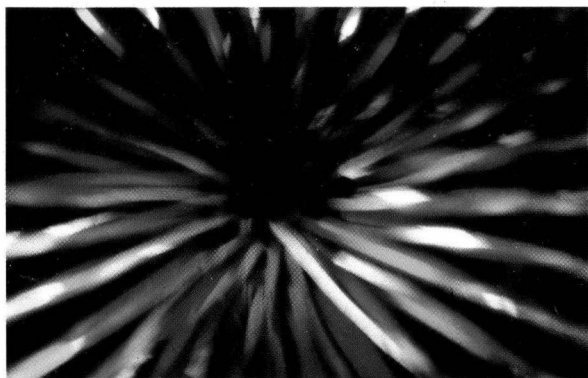
Insieme ai suoi colleghi americani Ralph Alpher e Robert Hermann, George Gamow (a fianco) è stato il primo a parlare di un universo primordiale caldo e di una radiazione fossile. Quest'ultima, notevolmente raffreddata dall'espansione del cosmo, può essere individuata solo con il radiotelescopio. I tecnici Arno Penzias e Robert Wilson captarono casualmente una radiazione molto vicina allo zero assoluto (–270 °C).

dell'universo. La luce fossile, che continua a raffreddarsi, possiede oggi la "glaciale" temperatura di –270 °C.

Il fuoco acceso nel caminetto lascia un mucchietto di cenere; ebbene, la radiazione fossile costituisce la cenere del fuoco primordiale. Per oltre vent'anni nessuno si è preso il disturbo di cercare queste tracce; solo nel 1965 la luce fossile è stata scoperta per puro caso da Arno Penzias e Robert Wilson, due radioastronomi americani che lavoravano nei laboratori Bell. Avvalendosi di un radiotelescopio

sensibilissimo per ascoltare i segnali di *Telstar* (il primo satellite per telecomunicazioni), i due hanno potuto ascoltare anche la "musica della creazione".

La radiazione fossile è lo scoglio contro cui vanno a naufragare tutte le teorie rivali del Big Bang, ivi compresa quella dell'universo stazionario.

I tre fatti osservabili su cui si fonda la teoria del Big Bang sono l'espansione del cosmo, la sua composizione chimica (tre quarti di idrogeno, circa un quarto di elio) e la radiazione fossile, costituita soprattutto di microonde e non osservabile esclusivamente da terra in quanto l'atmosfera ne assorbe una parte. Il satellite *COBE (Cosmic Background Explorer)*, lanciato in orbita dalla NASA nel 1989, ha come principale obiettivo proprio lo studio della radiazione fossile (sopra). Le osservazioni del *COBE* sarebbero inspiegabili se in origine l'universo non fosse stato estremamente compresso, caldo e denso.

Polvere di galassie

Il satellite *COBE* ha inoltre scoperto alcuni "semi" di galassia, che si manifestano con minuscole fluttuazioni di temperatura (circa 30 milionesimi) della radiazione fossile e che ci forniscono anche un'immagine dell'universo a 300.000 anni dalla nascita. Uno dei grandi problemi dell'astrofisica contemporanea consiste nel capire come questi semi di galassia siano germogliati per dare origine, a partire da uno o due miliardi di anni dopo il Big Bang, alla splendida tappezzeria cosmica. L'illustrazione rappresenta la carta del cielo vista dal *COBE* alle microonde. Le aree azzurre sono un po' più fredde della media e corrispondono alle zone in cui la materia è lievemente più densa. La luce, infatti, perde energia per vincere la gravità esercitata dalla materia più densa, e ciò ne provoca un certo raffreddamento. Al contrario, le aree rosa e arancione sono un po' più calde della media e corrispondono alle regioni in cui la materia è lievemente meno densa.

Questo dipinto cinetico di Frank Malina raffigura la fantastica esplosione che ha dato origine all'universo. Dall'istante del Big Bang il cosmo va incontro a un fulmineo processo di espansione, definito "inflazionario" dal fisico statunitense Alan Guth: in una infinitesima frazione di secondo (da 10^{-35} a 10^{-32} secondi), l'universo osservabile passa da una dimensione infinitamente più piccola del nucleo di un atomo alla grossezza di un'arancia.

Quark

Antiquark

Quark

Antiquark

Positrone

Elettrone

Neutrino

Antineutrino

Fotone

Direzione delle particelle

Dall'energia del vuoto alla materia cosmica

Il racconto comincia un'infinitesima frazione di secondo dopo l'esplosione primordiale, cioè esattamente a 10^{-43} secondi (0,0...1; la cifra 1 è preceduta da 43 zeri). Che cos'è successo prima? Nessuno lo sa. L'universo, a una temperatura di 10^{32} °C (cioè 1 seguito da 32 zeri) è incomparabilmente più torrido dell'inferno dantesco. Entra tutto in una sfera del diametro di un centesimo di millimetro: più o meno la punta di uno spillo. Il vuoto domina incontrastato. Niente stelle, niente galassie; perfino niente atomi. Non è però quel vuoto calmo e tranquillo, privo di sostanza e di attività, che vien fatto di immaginare, ma un vuoto vivo, ribollente di tutta l'energia liberata dall'esplosione primordiale.

L'orologio cosmico batte la frazione di secondo 10^{-32}. Grazie alla sua dilatazione, l'universo è già un po' meno denso e caldo. Compaiono le prime particelle elementari. Una "marmellata" di quark (i mattoni della materia), di elettroni (i "granuli" dell'elettricità) e di neutrini (particelle neutre di massa nulla o infima) sorge dal vuoto, mescolata a un bagno di fotoni (i "granuli" della luce). Insieme alla materia compare l'antimateria, composta di antiparticelle dotate delle stesse proprietà delle particelle, ma con carica elettrica opposta. Poiché l'universo è elettricamente neutro, la presenza dell'antimateria

è necessaria per controbilanciare le cariche della materia. Tra materia e luce esiste un'interazione costante: particelle e antiparticelle si serrano per diventare luce. A loro volta, i fotoni si metamorfosano in coppie particella-antiparticella. Materia, antimateria e luce compaiono e scompaiono in gironi infernali di vita e di morte.

A creare l'universo materiale è stato il favoritismo della natura

Se le particelle fossero in quantità identica alle antiparticelle, la storia finirebbe qui. La materia si annullerebbe con l'antimateria: resterebbe solo un universo di luce, privo di quelle particelle elementari come le stelle, le galassie e gli esseri umani. Per fortuna, tra materia e antimateria la natura non si mostra del tutto imparziale: predilige leggermente la materia. Per ogni miliardo di antiparticelle che sorgono dal vuoto, compaiono un miliardo più una particella. Quindi, per ogni miliardo di particelle e di antiparticelle che si annullano a vicenda per metamorfosarsi in un miliardo di fotoni, sopravvive una particella di materia.

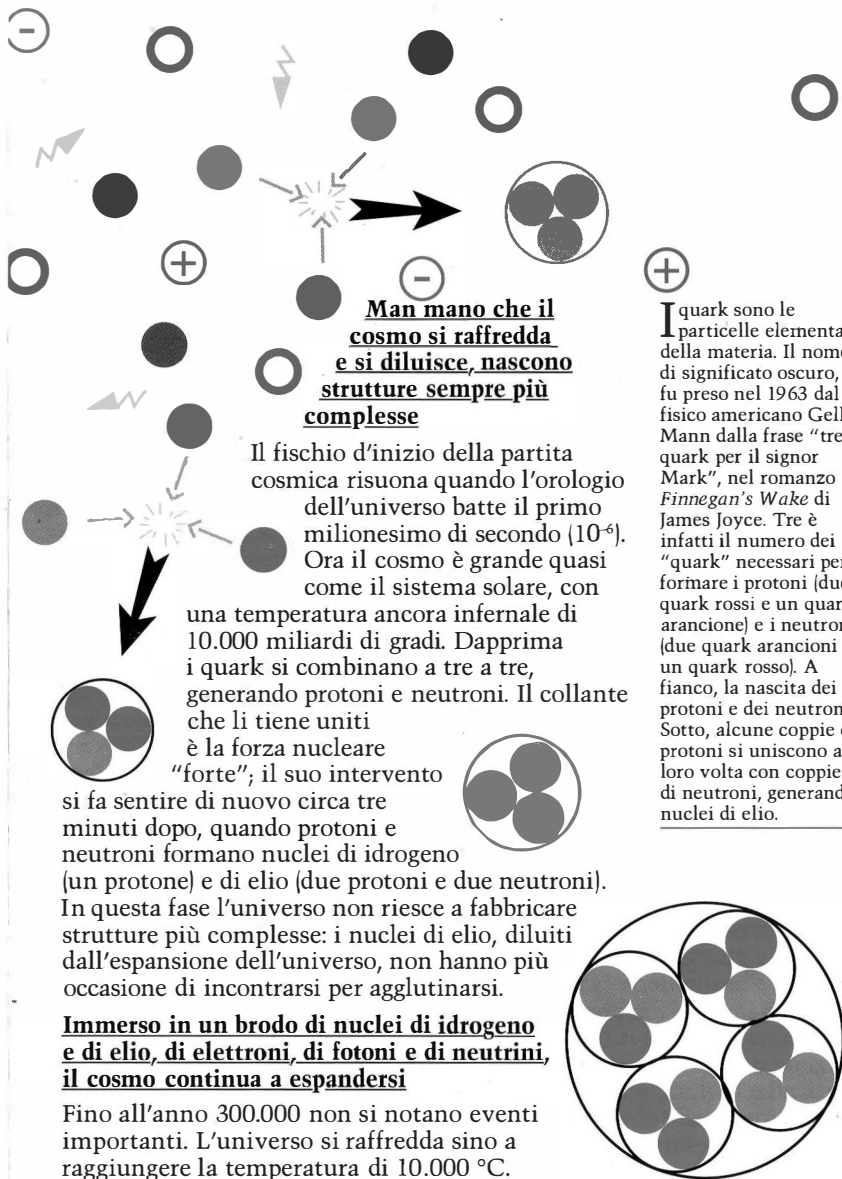
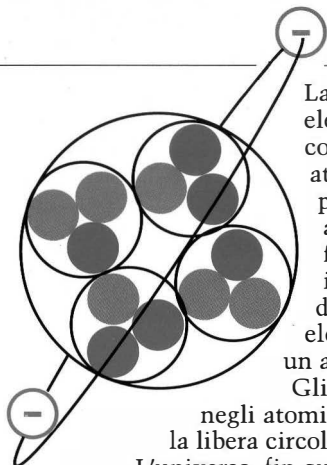
L'universo è retto da quattro forze fondamentali. La forza gravitazionale trattiene i pianeti intorno al Sole e le stelle nelle galassie. La forza elettromagnetica consente alle molecole di combinarsi nelle lunghe catene del DNA. Vengono poi le due forze nucleari che controllano il mondo degli atomi: la forza nucleare debole, che provoca la disintegrazione della materia; la forza nucleare forte, che lega insieme protoni e neutroni per formare i nuclei atomici.

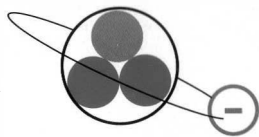
Man mano che il cosmo si raffredda e si diluisce, nascono strutture sempre più complesse

Il fischio d'inizio della partita cosmica risuona quando l'orologio dell'universo batte il primo milionesimo di secondo (10^{-6}). Ora il cosmo è grande quasi come il sistema solare, con una temperatura ancora infernale di 10.000 miliardi di gradi. Dapprima i quark si combinano a tre a tre, generando protoni e neutroni. Il collante che li tiene uniti è la forza nucleare "forte"; il suo intervento si fa sentire di nuovo circa tre minuti dopo, quando protoni e neutroni formano nuclei di idrogeno (un protone) e di elio (due protoni e due neutroni). In questa fase l'universo non riesce a fabbricare strutture più complesse: i nuclei di elio, diluiti dall'espansione dell'universo, non hanno più occasione di incontrarsi per agglutinarsi.

I quark sono le particelle elementari della materia. Il nome, di significato oscuro, fu preso nel 1963 dal fisico americano Gell-Mann dalla frase "tre quark per il signor Mark", nel romanzo *Finnegan's Wake* di James Joyce. Tre è infatti il numero dei "quark" necessari per formare i protoni (due quark rossi e un quark arancione) e i neutroni (due quark arancioni e un quark rosso). A fianco, la nascita dei protoni e dei neutroni. Sotto, alcune coppie di protoni si uniscono a loro volta con coppie di neutroni, generando nuclei di elio.

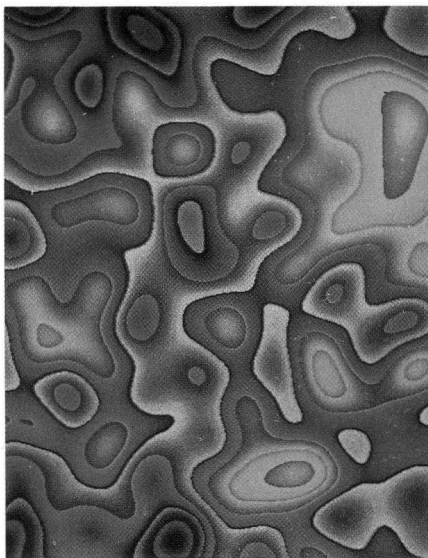
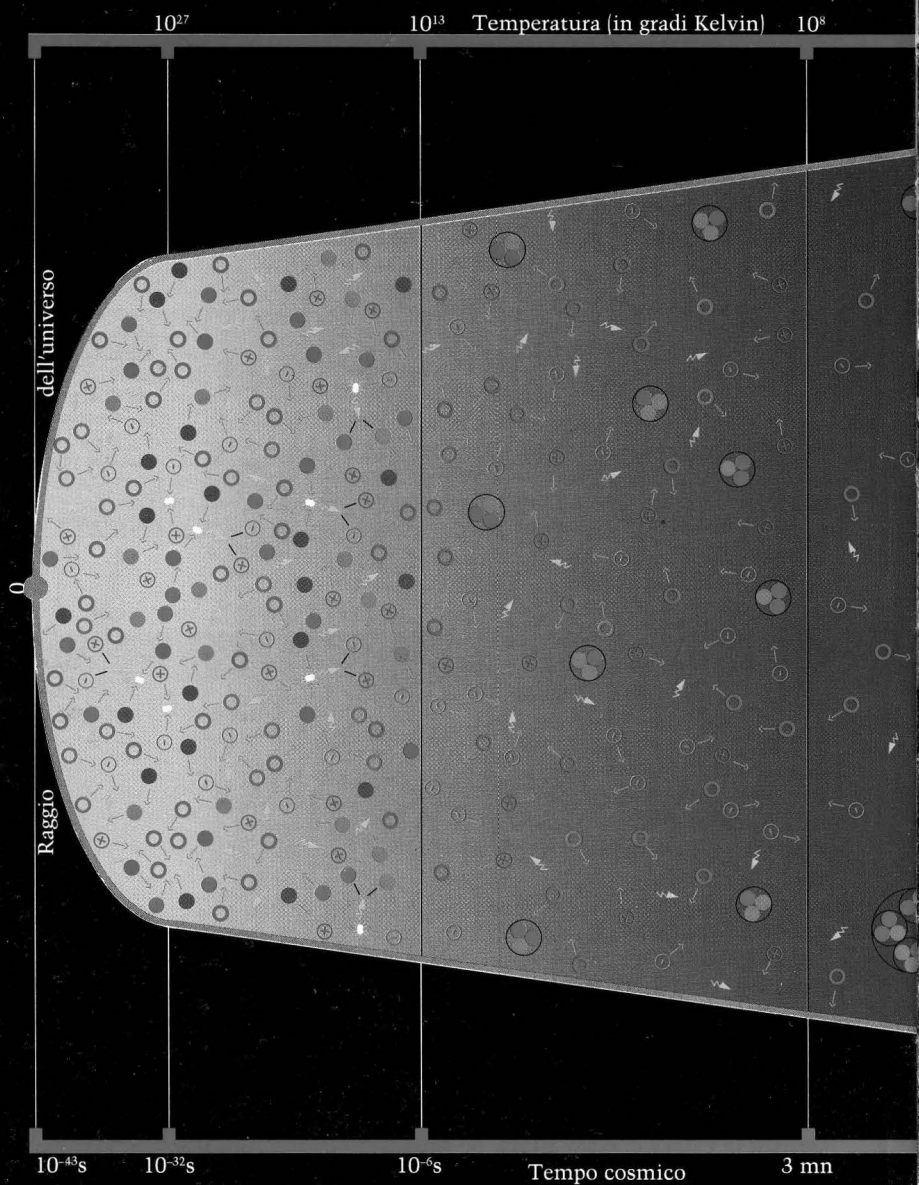
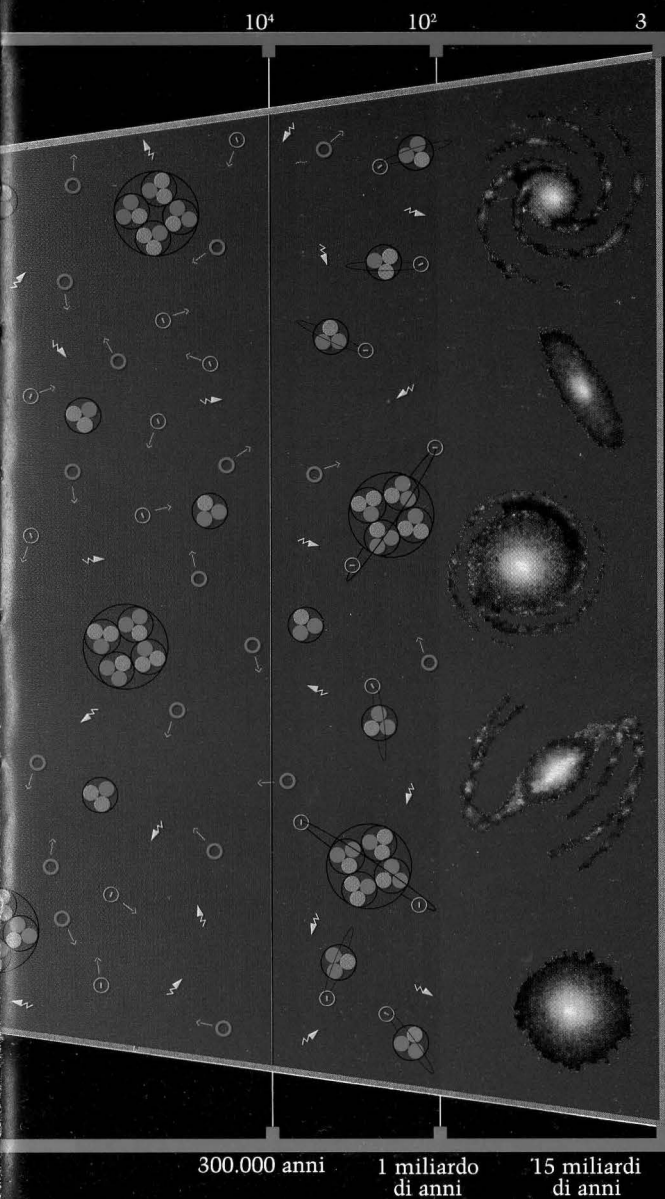
Immerso in un brodo di nuclei di idrogeno e di elio, di elettroni, di fotoni e di neutrini, il cosmo continua a espandersi

Fino all'anno 300.000 non si notano eventi importanti. L'universo si raffredda sino a raggiungere la temperatura di 10.000 °C.

La forza elettromagnetica costruisce la materia atomica spingendo ogni protone a unirsi a un elettrone per formare un atomo di idrogeno, e ogni nucleo di elio a unirsi con due elettroni per costituire un atomo di elio.

Gli elettroni imprigionati negli atomi non intralciano più la libera circolazione dei fotoni. L'universo, fin qui opaco, diviene trasparente. I fotoni che nascono in quest'epoca costituiscono la luce fossile dell'universo. Disponendo di atomi di idrogeno e di elio, il cosmo esce dal vicolo cieco dell'elio e comincia a costruire strutture più complesse. Con l'ausilio della gravità, il deserto glaciale dello spazio comincia a popolarsi di oasi di calore: sono le galassie. La materia contenuta nelle galassie, legata com'è dalla gravità, non partecipa all'espansione cosmica e sfugge anche al raffreddamento e alla diluizione che ostacolano il cammino della materia verso la complessità. Ma queste oasi di calore possiedono anche un grave difetto: sono troppo poco dense. Una galassia contiene in media appena un atomo di idrogeno per centimetro cubo; è quindi milioni di miliardi di volte meno densa dell'aria che respiriamo. Per favorire l'incontro degli atomi sono necessarie zone ben più dense. Dentro le galassie, ecco allora comparire le stelle.

In un secondo tempo elettroni e nuclei si uniscono per formare atomi di idrogeno (sopra) e di elio (a sinistra). La forza gravitazionale fa germogliare i semi di galassia che compaiono sotto forma di fluttuazioni di densità del "brodo primordiale" (sotto). La gravità attrae la materia verso le zone più dense, che collassano dando origine alle galassie.

10^{27}
10^{13}
Temperatura (in gradi Kelvin)
10^{8}
Raggio dell'universo
0
10^{-43}s
10^{-32}s
10^{-6}s
Tempo cosmico
3 mn

10^4 10^2 3

300.000 anni 1 miliardo di anni 15 miliardi di anni

Dal Big Bang alle galassie

Avvalendosi delle recenti acquisizioni della fisica delle particelle elementari, gli astrofisici hanno potuto ripercorrere la storia dell'universo fino a 10^{-43} secondi dal Big Bang. Le attuali conoscenze in campo fisico non consentono di spingersi oltre. Alla fine del periodo "inflazionario" l'energia del vuoto genera un "brodo primordiale" di quark, di elettroni, di neutrini, di fotoni e delle rispettive antiparticelle. La nascita dei neutroni e dei protoni a 10^{-6} secondi fissa la combinazione chimica dell'universo. Con la comparsa di nuclei di idrogeno e di elio nel corso del terzo minuto, il 98 per cento della massa dell'universo è ormai costituito: 75 per cento di idrogeno, 23 per cento di elio. Dopo 300.000 anni l'accoppiamento degli elettroni con i nuclei di idrogeno e di elio genera gli atomi di tali due elementi. Ormai il cosmo dispone del materiale necessario per fabbricare le galassie e le stelle.

IV. IL DESTINO DELLE STELLE

Come l'universo, anche le stelle hanno perduto la loro immobilità. In compenso, ora hanno una storia: fatta, come ogni storia, di una nascita, di una vita e di una morte. È una storia che ci riguarda da vicino, perché sfocia nella nostra. In fondo, che cosa siamo, se non polvere di stelle?

La *nursery* stellare IC 1283-4, nella costellazione del Sagittario, ospita centinaia di giovani stelle, che la illuminano con le loro intense radiazioni ultraviolette, conferendole eleganti sfumature malva (a fronte). Il resto della supemova osservata da Tycho Brahe nel 1572 (a fianco) emette una enorme quantità di radioonde, prodotte dagli elettroni accelerati dall'esplosione.

Come penetrare nel cuore delle *nursery* stellari per assistere in diretta alla nascita delle stelle? La luce visibile emessa dalle stelle giovani è assorbita dai gas e dalle polveri che le circondano. La *nursery* stellare NGC 2024, della costellazione di Orione (fotografia alla luce visibile) è solo un'area scura nel cielo, in apparenza privo di stelle. Gli astri sono visibili solo alla periferia, là dove la luce non è più bloccata dai granelli di polvere.

La nascita delle prime stelle coincide più o meno con il secondo miliardo di anni del cosmo. Disgregandosi per la gravità, ogni embrione di galassia si fraziona in centinaia di miliardi di nuvolette gassose di idrogeno e di elio. Anche queste diventano sferiche a opera della gravità e, a loro volta, si disgregano: la densità del centro aumenta rapidamente fino a diventare 160 volte quella dell'acqua. Quanto alla temperatura centrale, raggiunge alcune decine di milioni di gradi. Gli atomi di idrogeno e di elio nati nei primi minuti del cosmo si urtano violentemente al centro delle sfere gassose, liberando elettroni, nuclei di idrogeno (o protoni) e nuclei di elio.

È un quadro molto simile a quello del terzo minuto del cosmo. Il calore enorme e l'alta densità consentono alla natura di ripetere il suo gioco preferito, quello delle associazioni: i protoni si uniscono a quattro a quattro e vanno a costituire gli atomi di elio.

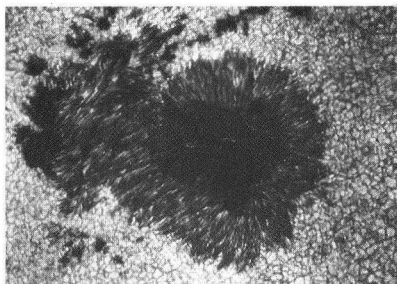
Le stelle si accendono

Tali unioni liberano energia, che si manifesta sotto forma di radiazioni: le stelle brillano perché convertono in energia parte della loro massa di protoni. Confrontando la massa di quattro protoni liberi con quella del nucleo di elio risultante dalla loro unione, si nota che la massa dell'elio non è

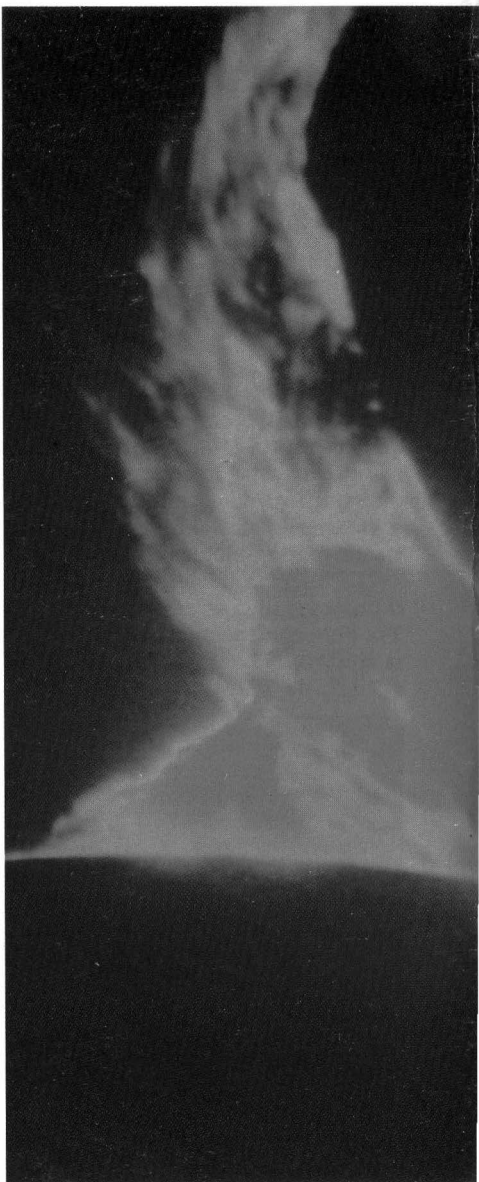
uguale, ma lievemente inferiore a quella massa dei quattro protoni. La quantità di massa mancante è stata convertita in energia, ed è proprio quest'ultima ad accendere le nubi gassose e a mutarle in stelle. L'embrione di galassia si trasforma in una gigantesca *nursery* stellare.

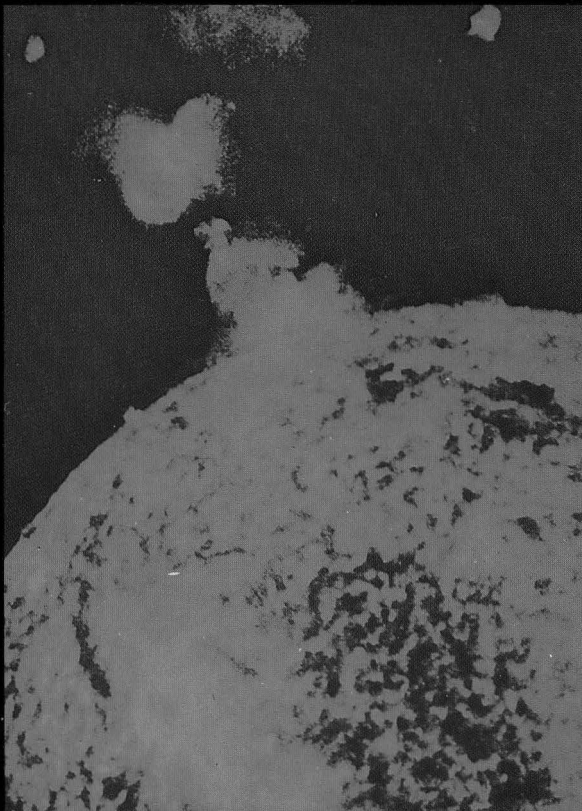
La liberazione dell'energia arresta di colpo il processo di disgregazione delle bolle gassose. Tra l'energia radiante, che tende a far espandere la stella, e la compressione della gravità, che tende a contrarla, si instaura l'equilibrio.

Nei nostri anni ottanta, lo sviluppo dei rilevatori di infrarossi ha consentito di risolvere almeno in parte il mistero della nascita delle stelle. Infatti, la luce infrarossa non è assorbita dai granelli di polvere. Vista all'infrarosso (sopra), NGC 2024, così oscura alla luce visibile, brulica di centinaia di embrioni di giovani stelle, raggianti in tutto il loro splendore.

A fianco, la nebulosa Trifide vista all'infrarosso. È illuminata da centinaia di stelle nuove nascoste nel suo cuore. La forma a trifoglio è dovuta a enormi fasce di polvere che attraversano questa *nursery* stellare.

La carta d'identità del Sole

Il Sole è nato 4,6 miliardi di anni fa dal collasso di una nebulosa della Via Lattea, provocata forse dall'agonia esplosiva (supernova) di una stella vicina. Uscito dall'ammasso che gli ha dato i natali, l'astro solitario genera luce ed energia e dispensa generosamente il suo calore ai nove pianeti che lo circondano. Su uno di essi, il "pianeta azzurro" – la nostra Terra – ha fatto scaturire la vita e continua ad alimentarla.

Avvicinandosi al Sole si potrebbe scorgere una superficie gassosa in movimento, ricoperta di fiamme, riscaldata a 6000 °C dall'immenso braciere costituito dal nucleo e decomposta in migliaia di enormi cellule gassose del diametro di migliaia di chilometri. Tali cellule, dette granuli, compaiono e si dissolvono in pochi minuti. Qua e là, il paesaggio solare è punteggiato di aree più scure, le macchie solari scoperte da Galileo. Scure perché più fredde di circa 2000 °C della superficie solare, possono avere un diametro di migliaia di chilometri e

riuscirebbero a ingoiare pianeti interi. Sulla superficie solare si svolge un'intensa attività, e le macchie sono i luoghi in cui il Sole manifesta i suoi umori mutevoli. In certi momenti, tutta una macchia ribolle di attività, proiettando nello spazio altissime lingue di fuoco e vortici di materia. Alcune di quelle lingue, trattenute dal campo magnetico dell'astro, ricadono verso la superficie disegnando splendide figure luminose. Quei lampi di fuoco scagliano nello spazio un fiotto di materia, costituito di protoni e di elettroni, che va ad aggiungersi al vento solare risultante dall'evaporazione degli strati esterni del Sole.

Il numero delle macchie solari (a fronte, sopra) cresce e decresce periodicamente, in cicli di undici anni. Secondo gli astrofisici il fenomeno è legato a un periodico riassetto del campo magnetico all'interno del Sole, gigantesca calamita dotata di due poli magnetici. Questi ultimi si invertono (il nord diventa sud e viceversa) ogni undici anni, periodo, appunto, corrispondente alla durata del ciclo delle macchie solari. Sono i venti solari a generare la coda delle comete (a fianco, la cometa West), grosse palle di neve con nucleo roccioso che vengono periodicamente a visitare il sistema solare. La loro forma rettilinea deriva dall'interazione delle sostanze gelate volatilizzate dal calore solare con i venti delle particelle cariche di energia elettromagnetica. Quando il Sole è particolarmente attivo (foto al centro), i venti solari spirano furiosi, perturbando i collegamenti radio sulla Terra.

Gli umori del Sole

Il Sole è l'unica stella di cui sia possibile studiare dettagliatamente la superficie: le altre sono troppo lontane per consentire questo tipo di indagine. Le tre foto (effettuate con la luce ultravioletta) documentano alcune spettacolari eruzioni solari: altissime lingue di fuoco, dette protuberanze, vengono proiettate a decine di migliaia di chilometri dalla superficie. Certe protuberanze vanno a perdersi nello spazio, riversandovi fiotti di materia ionizzata (elettroni e protoni) a una velocità di 1000 km/s. Altre ricadono sulla superficie, tracciando archi infocati. Si ritiene che le eruzioni solari siano dovute a fenomeni di natura magnetica. Poiché non è solido, il Sole impiega più tempo a compiere una rotazione ai poli (35 giorni) che non all'equatore (25 giorni). A causa di questa differenza di velocità, le linee del campo magnetico all'interno del Sole si torcono e si intrecciano. Dopo un certo periodo, si spezzano ed emergono in superficie, creando le macchie solari e, di conseguenza, le protuberanze.

N W

E S

HAO SMM CORONAGRAPH/POLARIMETER
DOY 103 UT= 1416 POL=0

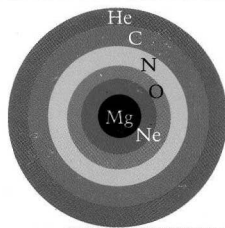
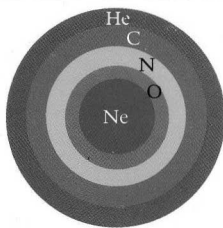
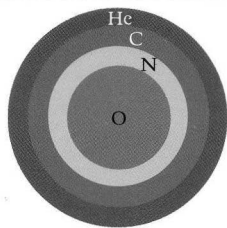
La corona del re

La foto della pagina a fronte, scattata dal telescopio solare a bordo dello *Skylab* (1973), mostra gli effetti sulla corona solare (la zona violetta) di una gigantesca eruzione. La corona, riscaldata alla temperatura di milioni di gradi, si estende in un raggio di molti milioni di chilometri intorno alla superficie del Sole. In una foto ancor più dettagliata della corona solare (a fianco) scattata dal satellite della NASA *Solar Maximum Mission* (1980), destinato a studiare il Sole all'acme della sua attività, i diversi colori rappresentano zone di densità diversa: il violetto corrisponde alle più dense, il verde e il giallo alle meno dense. Ma anche nelle aree di maggiore densità la corona solare è un vuoto quasi assoluto. La foto sopra, scattata da un astronauta a bordo della capsula spaziale *Apollo 16* (1972), mostra gli effetti del vento solare sulla Terra. La tenue fascia di idrogeno che circonda la Terra ne risulta illuminata, creando una specie di alone luminoso evidenziabile solo all'ultravioletto.

Per l'universo c'è un'altra possibilità

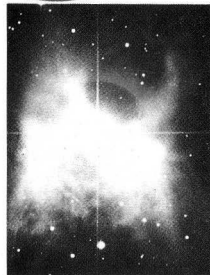
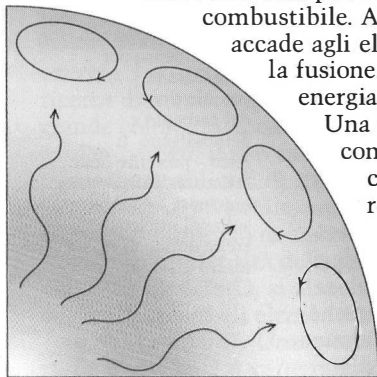
Quando esaurisce la sua riserva di idrogeno, il nucleo della stella si trasforma in nucleo di elio. L'energia radiante si indebolisce e la gravità prende il sopravvento. Allora la stella si contrae, mentre il nucleo di elio e lo strato di idrogeno che lo circonda diventano più densi e più caldi. Ben presto la temperatura dello strato supera i 10 milioni di gradi e la combustione dell'idrogeno riprende, sprigionando un'enorme vampata di energia che dilata la stella fino a centuplicarne le dimensioni iniziali. Nello stesso tempo il suo colore vira verso il rosso, e diventa così una gigante rossa. Ma anche la riserva di idrogeno contenuta nello strato esterno è destinata a esaurirsi. Privo di combustibile, il cuore di elio si contrae ancor di più, e la temperatura centrale supera i 100 milioni di gradi, innescando il processo di combustione dell'elio. I nuclei di elio si uniscono a tre a tre e formano un nucleo di carbonio. Questo prodigio avviene perché la massa di un nucleo di carbonio è di un infinitesimo inferiore a quella di tre nuclei di elio. La differenza di massa si converte in energia radiante.

Perché la stella è riuscita a superare l'ostacolo dell'elio? Perché, per riunire tre nuclei di elio, occorrono una grande densità e un certo periodo di tempo, quel tempo che mancava all'universo in espansione. La materia si diluiva con rapidità vertiginosa; già al terzo minuto del cosmo le possibilità che si formasse un nucleo di carbonio erano praticamente nulle. La gigante rossa non ha il problema dell'espansione e del calo di densità, poiché dispone di miliardi di anni per favorire l'incontro

Le reazioni termonucleari si svolgono nel cuore del Sole in una fascia spessa un quarto del raggio del disco solare. Poi, le radiazioni si diffondono verso gli strati superiori fino agli otto decimi del raggio. Infine, i moti convettivi le portano in superficie (a fronte, sotto). Per giungere dal centro alla superficie, le radiazioni impiegano 100.000 anni. Le stelle che hanno esaurito il loro nucleo di idrogeno diventano giganti rosse, come la stella HD 65750 (a fronte, foto piccola), circondata di gas e di polveri risultanti dalla perdita degli strati più esterni. Come accade per tutte le stelle, la temperatura della gigante rossa non è uniforme: da alcuni milioni di gradi nel nucleo scende ad alcune migliaia di gradi in superficie.

tra i nuclei di elio. La stella salva dalla sterilità l'universo, che dispone ormai delle "fornaci cosmiche" necessarie per fabbricare gli elementi chimici indispensabili alla vita.

Un grande indisciplinato: il ferro

La stella continua la sua alchimia creatrice, e in alcuni milioni di anni nasce una ventina di nuovi elementi chimici. Quando il combustibile elio è esaurito, comincia la combustione del carbonio, che genera ossigeno. Anche quest'ultimo comincia a bruciare, dando origine a elementi più complessi (neon, magnesio, alluminio, zolfo). Quando compare il ferro, la stella porta già in sé gli elementi chimici che formeranno oltre il 90 per cento degli atomi del nostro corpo e che provocheranno la diversificazione della vita. Con "mattoni" semplici – protoni e neutroni – la stella erige edifici imponenti come il ferro, il cui nucleo contiene 26 protoni e 30 neutroni.

Ma il ferro non può fungere da combustibile. A differenza di quanto accade agli elementi citati prima, la fusione del ferro non genera energia, bensì la richiede. Una volta a corto di combustibile, la stella cessa di emettere radiazioni. La gravità, non più bilanciata dall'emissione di radiazioni, comprime la stella sino a farla morire.

Poiché l'idrogeno si trasforma in elio solo a 10 milioni di gradi, l'elio diventa carbonio solo a 100 milioni di gradi, e così via, mentre il combustibile e i prodotti della combustione variano a seconda degli strati. La stella acquista così una struttura "a buccia di cipolla", cedendo progressivamente all'esterno gli elementi pesanti del nucleo. Sopra lo schema del processo: He = elio; H = idrogeno; C = carbonio; N = azoto; O = ossigeno; Ne = neon; Mg = magnesio.

La prima nana bianca conosciuta si chiama Sirio B. È così denominata perché è la compagna della stella più brillante del cielo notturno, Sirio A. Quest'ultima è tanto luminosa, che Sirio B passa per molto tempo inosservata. Nel 1863, dopo lunghe ricerche, gli astronomi riescono infine a fotografare la "compagna oscura", scoprendo che è diecimila volte meno luminosa di Sirio A, ma altrettanto calda: 10.000 gradi. Una stella dotata di tali caratteristiche deve essere estremamente piccola, delle dimensioni della Terra; perciò gli studiosi la chiamano nana bianca. Negli anni Trenta, l'astrofisico pakistano Subrahmanyan Chandrasekhar scopre che la nana bianca è il risultato del collasso di una stella a corto di combustibile e dotata di una massa inferiore a 1,4 soli. Il nucleo di queste stelle di massa ridotta è troppo poco caldo e denso per innescare la combustionc del carbonio e dell'ossigeno. Il ferro – presente nelle striature del meteorite qui sopra – è fabbricato solo nel nucleo di stelle dotate di massa molto maggiore.

Nana bianca e nana nera

Le stelle possono essere magre o grasse. Le più magre e piccole hanno appena un decimo della massa del Sole, mentre le più grandi e grosse raggiungono la massa di un centinaio di soli. A seconda della sua massa, una stella va incontro a una morte dolce o violenta.

Spostando avanti idealmente l'orologio cosmico di 9 miliardi di anni, si può assistere alla fine del Sole, che ha ormai esaurito la sua riserva di combustibile. La gravità lo riduce alle dimensioni della Terra (circa 6000 chilometri di diametro), trasformandolo in una stella nana. Si arroventa perché l'energia del movimento di contrazione si tramuta in calore. Il colore tende al bianco (nana bianca). Ora la sua densità è enorme: una cucchiaiata di nana bianca pesa una tonnellata. Nello stesso tempo il suo nucleo collassa, e la stella si spoglia dei suoi strati esterni, i quali, illuminati dalla nana bianca, assumono l'aspetto di un anello gassoso screziato di rosso, di verde e di giallo. È quel che va sotto il nome di nebulosa planetaria; una denominazione impropria, perché tra nebulose planetarie e pianeti non esiste alcuna connessione. A questo punto, privi di fonti di

energia, i nostri discendenti dovranno partire alla ricerca di un altro Sole. Forse, sarà l'inizio della grande colonizzazione della galassia.

Per perdere il suo calore, la nana bianca impiegherà miliardi di anni. Alla fine, trasformata in nana nera, invisibile, andrà ad aggiungersi allo sterminato numero di cadaveri stellari di cui è cosparsa l'immensità delle galassie. Quanto alla nebulosa planetaria, si disperderà nello spazio, disseminandovi gli elementi pesanti fabbricati nel "crogiolo stellare". Una morte dolce che attende le stelle di massa 1,4 volte inferiore a quella del Sole.

La nebulosa planetaria della Lira (M 57) dista 4000 anni-luce dalla Terra (sopra). La nana bianca che la illumina è il punto luminoso al centro. In rapporto ai tempi cosmici, la nebulosa planetaria è un vero fuoco di paglia: tra 50.000 anni non sarà più visibile.

Alcuni anni fa la grande nube di Magellano (sopra, a sinistra) si arricchì di una nuova stella (sopra, a destra in basso), che segnalava la morte esplosiva di una stella dotata di grande massa. Denominata supernova 1987 A, era tanto luminosa da risultare visibile a occhio nudo (dall'emisfero Sud) per sei mesi. In seguito, la sua luminosità si è ridotta, ma gli astronomi hanno continuato a studiarne l'agonia con l'aiuto di grandi telescopi. L'esplosione è avvenuta 150.000 anni fa, all'epoca dell'uomo di Neanderthal, ma la notizia ci è giunta praticamente ieri.

L'agonia esplosiva di una supernova

Le stelle più grosse sono invece destinate a un'agonia molto più violenta. Ma anche in questo caso il loro destino non sarà unico.

Prendiamo una stella che abbia una massa tra 1,4 e 5 volte quella del Sole. La maggior massa provoca una compressione maggiore: il raggio della nana non supera i 10 chilometri. Tutta la materia si trasforma in neutroni: una cucchiaiata peserebbe un miliardo di tonnellate. Per ottenere la stessa densità bisognerebbe comprimere tre superpetroliere alle dimensioni di una punta di penna a sfera.

Quando il cuore della stella è completamente collassato, avviene un'esplosione fulminea. Gli strati esterni sono proiettati nello spazio a migliaia di chilometri al secondo. La deflagrazione sfolgora come miliardi di soli; nel cielo compare un punto luminoso, brillante quasi quanto un'intera galassia. È la supernova. In una galassia si verifica una morte esplosiva all'incirca ogni secolo, mentre nella totalità del cosmo, composto di cento miliardi di galassie, il ritmo è di un'esplosione ogni

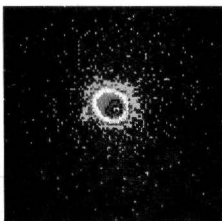
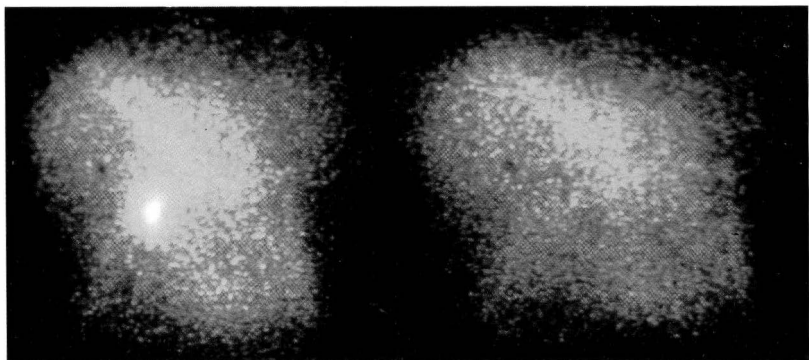
secondo. Da quando l'uomo ha cominciato a registrare le sue osservazioni, nella Via Lattea è avvenuta una decina di esplosioni del genere, tra cui la "nuova stella" scoperta nel 1572 da Tycho Brahe nella costellazione di Cassiopea. Oggi, i resti della supernova che lo indusse a mettere in dubbio l'immutabilità del cielo portano il suo nome.

Il 23 febbraio del 1987 il mondo degli astronomi è stato messo a rumore da una supernova osservata nella grande nube di Magellano, una delle galassie nane satelliti della Via Lattea, distante da noi circa 150.000 anni-luce. Per la prima volta, la morte di una stella vicina poteva essere studiata con inedita precisione con tutto l'armamentario dei moderni strumenti di osservazione: grandi telescopi sulla Terra, satelliti spaziali, apparecchi per l'individuazione dei neutrini eccetera.

Una stella invitata: la "nebulosa del Cancro"

Una delle supernove più celebri degli annali astronomici, i cui resti sono denominati "nebulosa del Cancro", comparve nel cielo il mattino del 4 luglio 1054. La "stella invitata", come la battezzarono gli astronomi cinesi, era tanto splendente da risultare visibile anche di giorno per alcune settimane. Tuttavia in Occidente – un Occidente accecato dalla fede aristotelica nella immutabilità del cielo – i documenti dell'epoca passano sotto silenzio l'eccezionale evento.

La foto sopra, scattata dal telescopio spaziale *Hubble*, rivela l'anello di materia (1,3 anni-luce di diametro) che circonda la supernova 1987 A, cioè il punto luminoso al centro dell'anello. Probabilmente l'anello, illuminato dalle intense radiazioni della supernova, è costituito dalla materia perduta dalla stella madre della supernova che si trasformò in gigante rossa circa 10.000 anni prima dell'esplosione. In origine, era una supergigante azzurra, luminosa come centomila soli: aveva la massa di venti soli e dimensioni decuple di quelle del nostro Sole.

Oggi, la stella invitata è invisibile a occhio nudo, mentre con il telescopio è possibile scorgere il debole alone luminoso emesso dai resti della supernova. Nel 1967 la nebulosa assurse a nuova notorietà perché vi fu scoperta una stella di neutroni: stella manifestantesi con un bagliore che si accende e si spegne trenta volte al secondo: perciò gli astronomi l'hanno chiamata *pulsar* (stella pulsante). Questo fenomeno straordinario deriva da due cause diverse: in primo luogo, la stella di neutroni non emette luce da tutta la superficie ma solo da due fasci sottili; inoltre, ha un moto di rotazione velocissimo in quanto una stella implosa gira

La stella di neutroni Cigno X-2 (l'immagine ai raggi X qui a fianco è stata presa dal satellite *Rosat*) dista dalla Terra 3000 anni-luce e orbita intorno a una stella normale. L'intensa emissione di raggi X deriva dal surriscaldamento dell'atmosfera della stella normale (invisibile ai raggi X) che, attratta dall'enorme gravità della stella di neutroni, precipita verso la sua superficie.

molto più rapidamente su se stessa di una di dimensioni normali; da qui l'impressione che si accenda come un faro ogni volta che uno dei suoi impulsi luminosi raggiunge la Terra.

Il pulsar esaurisce pian piano la riserva di energia immagazzinata al momento del collasso, rallenta gradualmente la propria velocità di rotazione e cessa di emettere luce nell'arco di alcuni milioni di anni, trascorsi i quali quel cadavere stellare resterà silenzioso e invisibile.

Al centro della nebulosa del Cancro (a fronte, sotto), residuo di una supernova, fa capolino una stella a neutroni (foto sopra, scattata ai raggi X). I filamenti rossi e gialli della nebulosa, contenenti i prodotti dell'alchimia stellare, si propagano nello spazio alla velocità di migliaia di km/s.

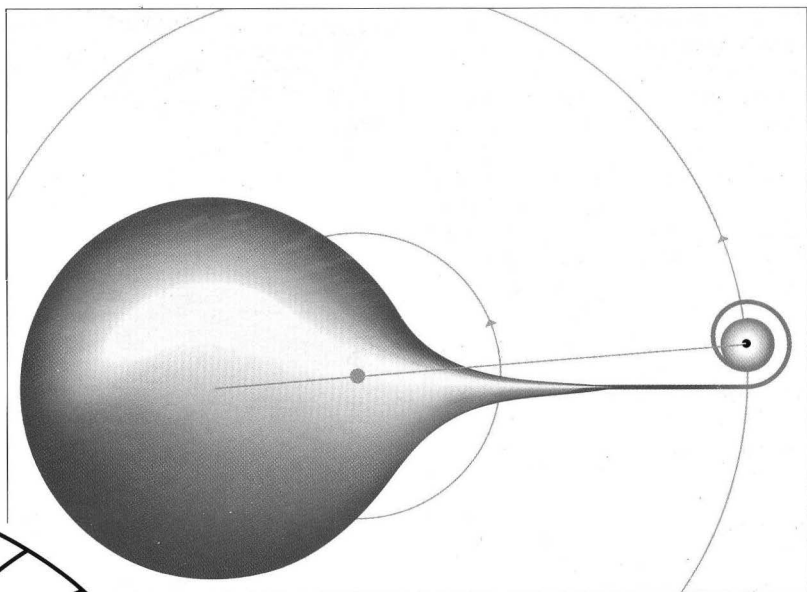
Il buco nero, ovvero la morte definitiva di una stella

Che sorte subisce una stella di massa cinque volte superiore a quella del Sole? La grande massa comprime una stella a corto di combustibile in un volume tanto ridotto da ingenerare un campo gravitazionale fortissimo. La gravità ripiega lo spazio su se stesso e impedisce alla luce di uscire. La stella diviene così un buco nero. Se la luce non può sfuggire alla morsa del buco nero, qualsiasi particella di materia che vi cada

La stella di neutroni ha un campo magnetico forte, che accelera elettroni e protoni, inducendoli a emettere due fasci di radioonde.

dentro è condannata a restarvi imprigionata. Si tratta, insomma, di un viaggio senza ritorno.

In linea di principio, qualsiasi corpo può trasformarsi in buco nero: basta comprimerlo oltre una certa dimensione perché la gravità aumenti a tal punto, da impedire alla luce di uscirne. Se un ipotetico gigante ci strizzasse tra le mani, riducendoci a una particella di materia non più grande di 10^{-23} centimetri, cioè a un milionesimo di miliardesimo di atomo, anche noi diventeremmo un buco nero. Allo stesso modo, la Terra assumerebbe le dimensioni di

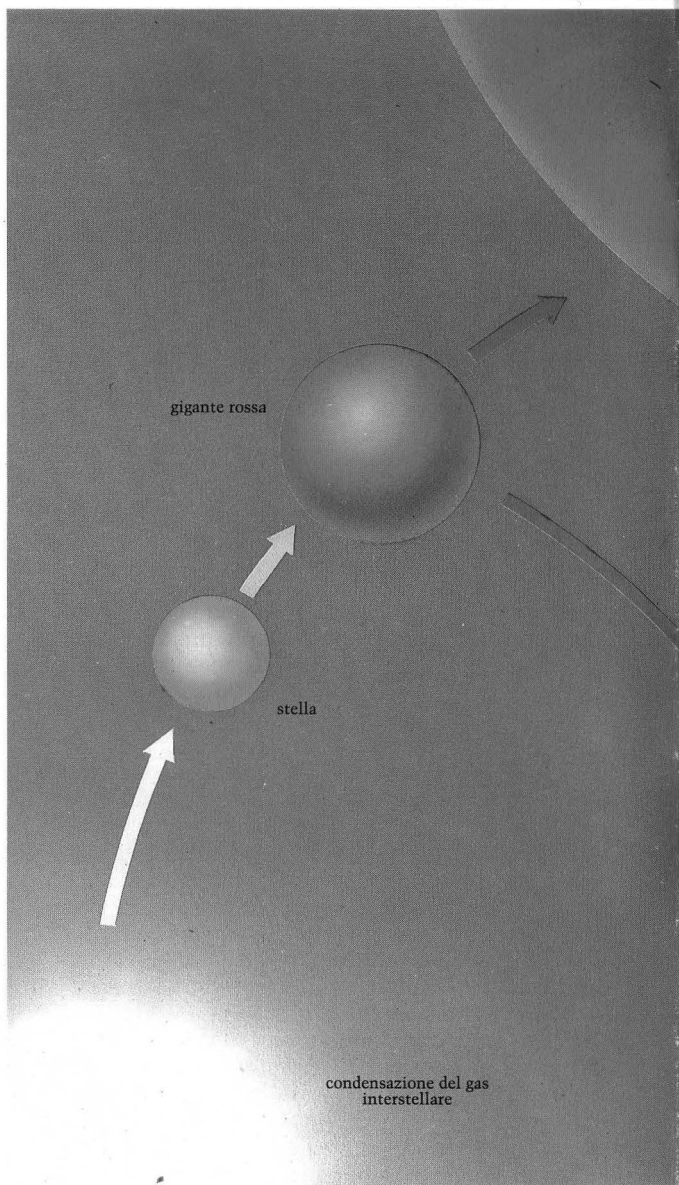
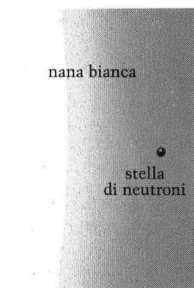
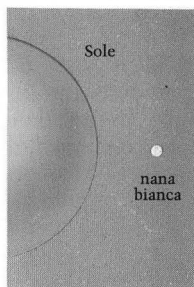
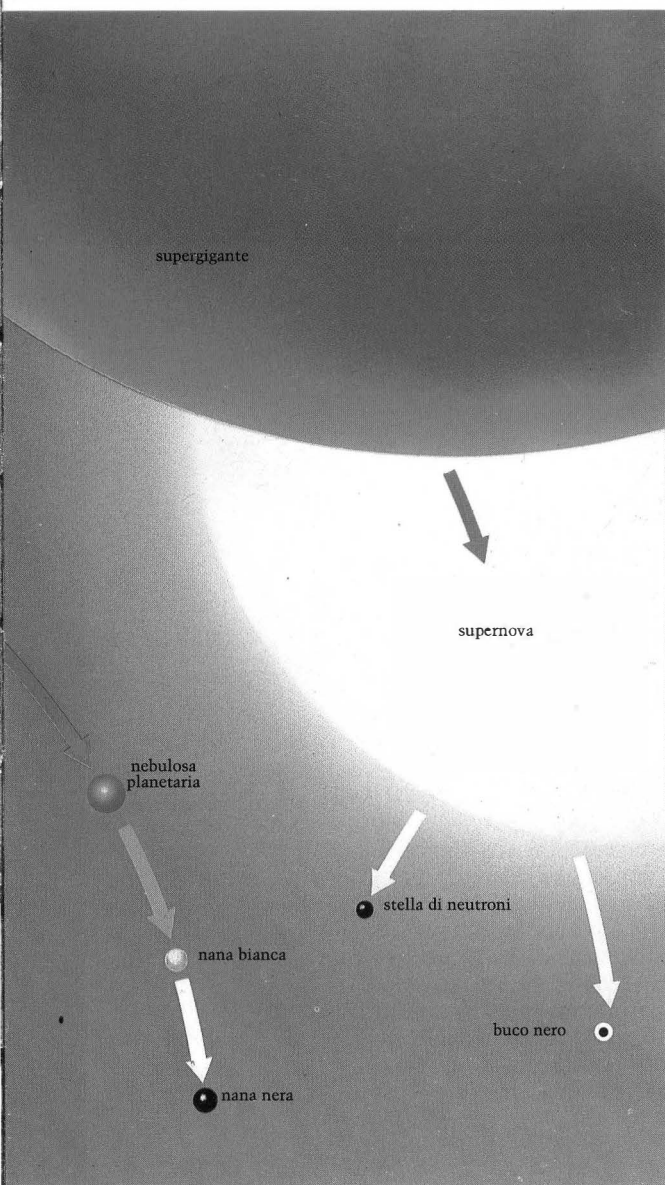
una biglia. Ma, di fatto, i buchi neri sono rari perché comprimere gli oggetti è difficilissimo. La forza elettromagnetica, che unisce gli atomi e le molecole e li dispone in strutture cristalline, resiste accanitamente a una compressione del genere. Per fabbricare un buco nero occorre tutta la massa di una stella più grande di cinque soli.

Ma se la luce non può sfuggire, come fa un astronomo a individuare un buco nero? Una volta nato, quest'ultimo attrae e ingoia qualsiasi cosa gli passi vicino e cresce in dimensioni e in massa. A rivelare la sua presenza è appunto lo sfrenato cannibalismo.

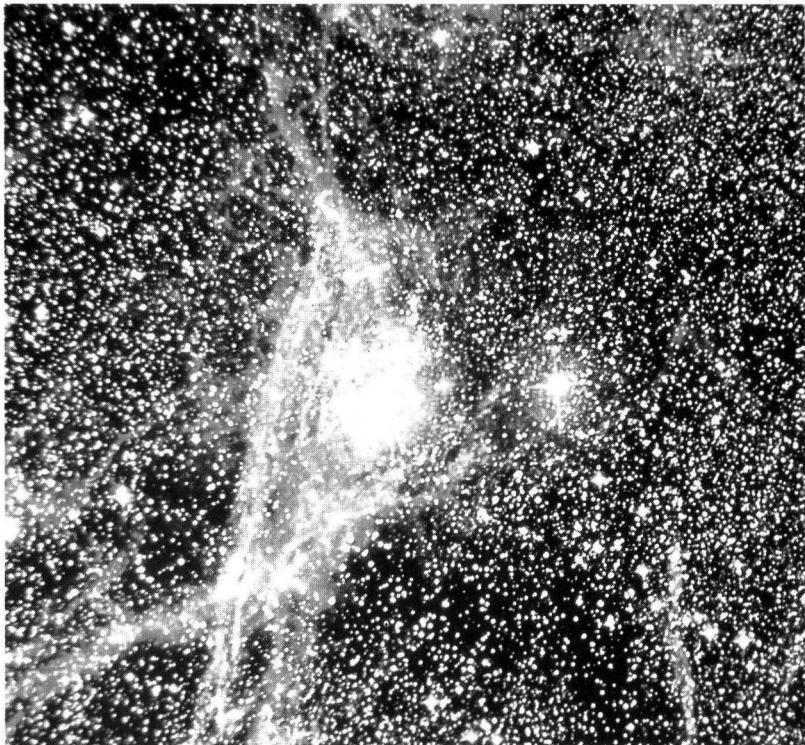
Numerose stelle di grande massa vivono in coppia, girando l'una intorno all'altra. Se una diventa un buco nero, l'altra continua a girare intorno alla compagna invisibile. Il campo gravitazionale che detta il moto della stella visibile dipende infatti dalla massa complessiva della coppia, che non è cambiata. Il possente campo del buco nero causa comunque danni ingenti: risucchia l'atmosfera gassosa della stella visibile. Gli atomi di gas cadono a tutta velocità nel buco, scontrandosi con violenza e surriscaldando la materia, che emette ingenti quantità di raggi X prima di sparire per sempre nelle viscere del mostro.

Lontano dal buco nero, lo spazio è piatto, cioè non incurvato. Nel buco nero, il campo gravitazionale ha una tale intensità, che la curvatura dello spazio diventa infinita (schema a fronte): tutto cade in questo abisso dello spazio e vi trova immancabilmente la fine. Sopra: nella costellazione del Cigno un compagno invisibile orbita intorno a una supergigante azzurra ed emette enormi quantità di luce X. Gli astronomi lo chiamano Cigno X-1 e pensano che si tratti di un buco nero.

gigante rossa

stella

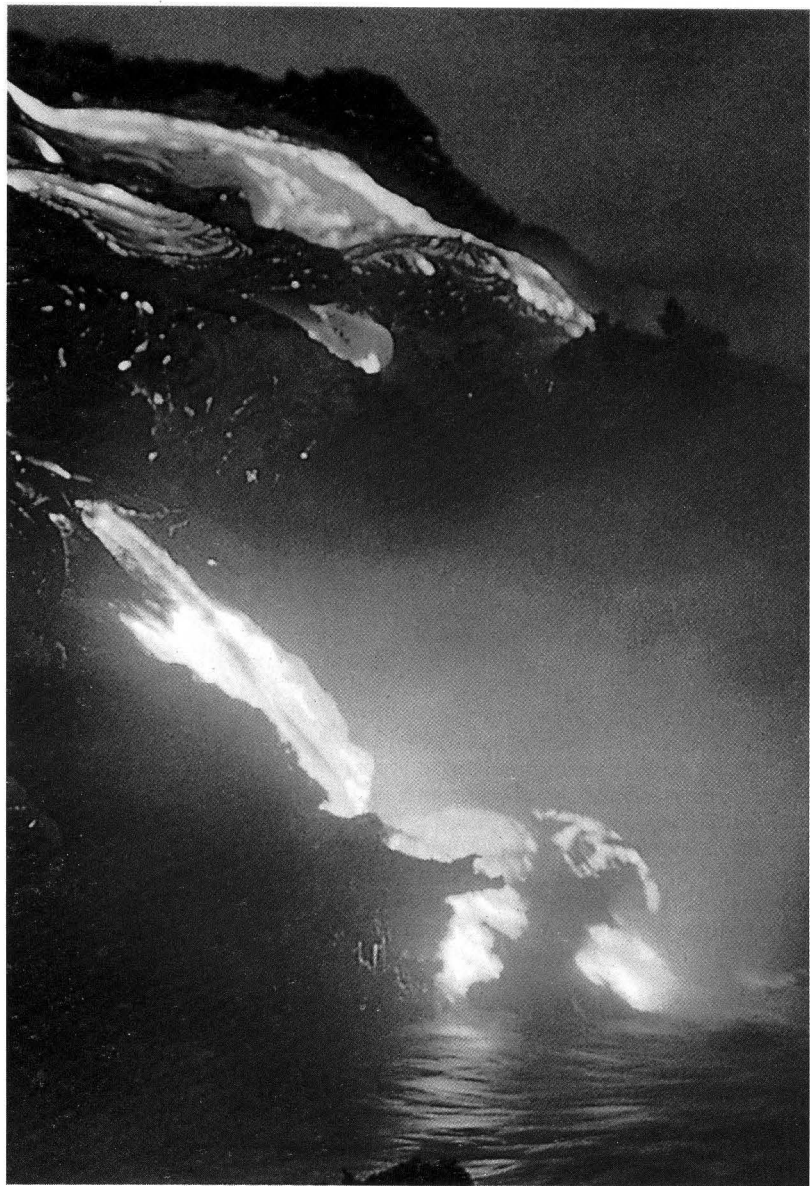
condensazione del gas
interstellare

Il destino di una stella dipende dalla sua capacità di resistere al moto di compressione della gravità, che fa collassare tutto. Quando la stella dispone ancora di combustibile, la forza delle radiazioni prodotte dalle reazioni nucleari che avvengono nel suo nucleo riescono a tener testa alla gravità. Ma, quando il combustibile si esaurisce, la gravità prende il sopravvento e la stella collassa. In una stella di massa inferiore a quella di 1,4 soli, gli elettroni rifiutano di farsi comprimere oltre un certo limite e la stella non raggiunge un raggio inferiore ai 6000 km. Sono proprio questi elettroni a "irrigidire" la nana bianca. Le stelle di massa tra gli 1,4 e i 5 soli collassano più rapidamente, cogliendo, per così dire, gli elettroni di sorpresa. Adesso, a organizzare la resistenza sono i neutroni: anch'essi rifiutano di farsi comprimere troppo; ma in questo caso la contrazione della stella si arresta a un raggio di 10 km. Se la stella ha una massa maggiore di 5 soli, né gli elettroni né i neutroni sono in grado di resistere alla gravità: nasce così un buco nero.

La Via Lattea è disseminata di resti di supernove. Sopra, un esempio individuato nella costellazione della Vela, residuo di un'esplosione stellare di 12.000 anni fa.

I vantaggi di una supernova

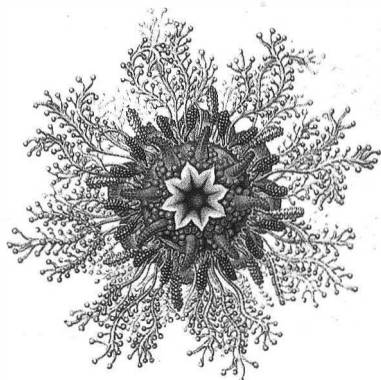
Come avviene per una stella di neutroni, anche la nascita del buco nero è accompagnata dalla deflagrazione di una supernova. La stella aveva consentito di fabbricare nuclei di elementi più complessi dell'elio; ma ciò non sarebbe servito a nulla se i prodotti della "cottura stellare" fossero rimasti prigionieri delle stelle. Infatti, la tappa successiva verso la complessità consiste nel fabbricare atomi, cioè nell'unire i nuclei di certi elementi con alcuni elettroni mediante l'energia elettromagnetica. Ora, tale unione è impossibile all'interno delle

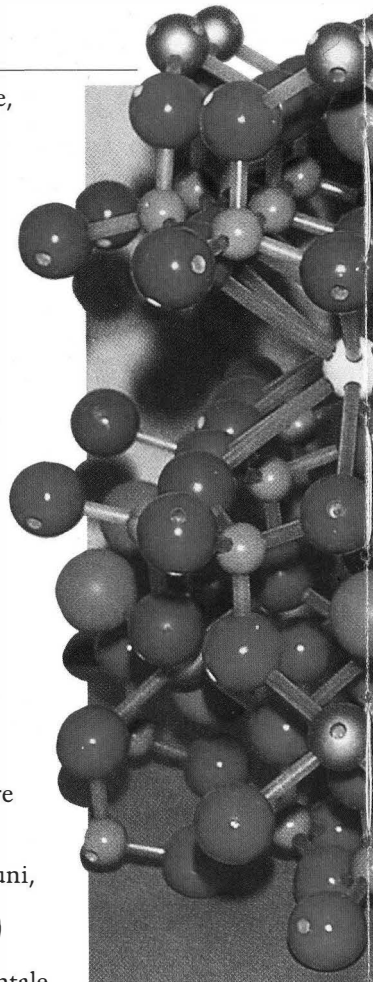
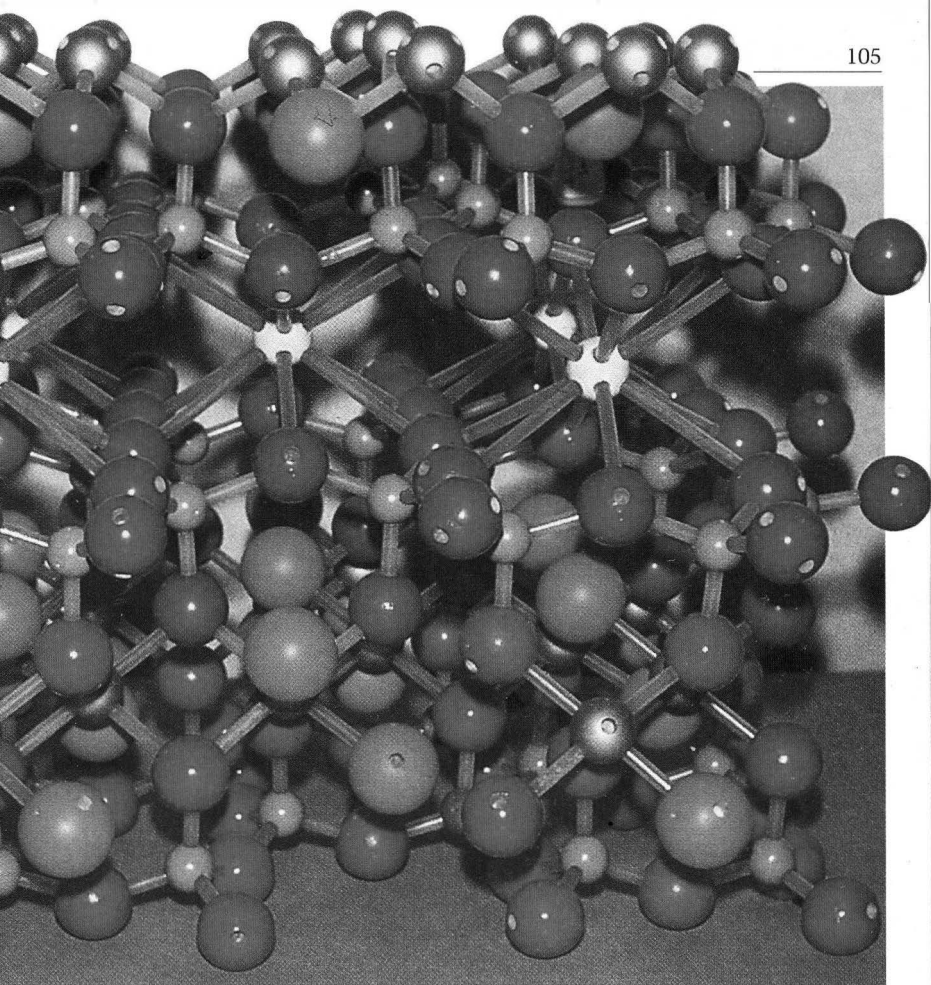
stelle, perché l'enorme calore che vi regna lancia gli atomi gli uni contro gli altri e li frammenta non appena si formano. Per "partorirli" occorre un ambiente più freddo e più tranquillo. Con le sue temperature, comprese tra –100 °C e di 10.000 °C, lo spazio interstellare è il luogo ideale. Resta da spiegare come i prodotti di cottura dei forni stellari possano sfuggire alle stelle. Quando una supernova esplode, lo spazio interstellare si dissemina di nuclei di elementi pesanti, germi dei futuri pianeti portatori di vita. L'alchimia nucleare nel cuore delle stelle si era fermata al ferro per mancanza di un'energia che la supernova invece possiede in quantità: di conseguenza le reazioni nucleari si susseguono a ritmo intenso. Nascono gli elementi più pesanti del ferro: l'argento, l'oro, il piombo, l'uranio...

Alla supernova si devono anche le mutazioni genetiche che portano dalla cellula primitiva all'uomo. L'immane deflagrazione proietta nello spazio interstellare nubi di elettroni e di protoni, alcuni dei quali, incontrando la Terra, modificano i geni delle specie viventi. I fisici li chiamano raggi cosmici.

I nuclei degli atomi dell'oro (a fianco, una collana celtica fatta col prezioso metallo) sono nati più di 4,6 miliardi di anni fa, dalla morte esplosiva di una stella di grande massa, in un titanico braciere nucleare. Invece, gli atomi del ferro (sotto, una cesoia romana del I secolo d.C) si sono costituiti quando la stella era ancora viva nel suo nucleo, surriscaldato a una temperatura di miliardi di gradi. Proiettati nello spazio interstellare quando la stella è andata incontro a morte violenta, sono poi finiti nella crosta terrestre.

V. IL PIANETA INVENTATO

Sul pianeta azzurro la natura gioca la carta della vita. Tra i milioni di specie animali e vegetali che hanno popolato la Terra, l'uomo, pur capace di estasiarsi di fronte alla bellezza e all'armonia dell'universo, mette oggi in pericolo l'equilibrio ecologico della biosfera. Il nostro pianeta va trattato con le debite attenzioni: sarà ben difficile trovare nel cosmo un "altrove" abitabile.

In origine la Terra era coperta di lava incandescente, come quella che si riversa dal vulcano Kilauea (Hawaii), nell'oceano Pacifico (a fronte). Gli antenati dell'organismo primitivo qui a fianco, detto "sifonoforo", comparvero circa 500 milioni di anni fa, cioè oltre 3 miliardi dopo la comparsa della vita sulla Terra.

Grazie all'alchimia creatrice delle grandi stelle, l'universo ha oggi a disposizione nuclei di elementi pesanti, dispersi nello spazio interstellare dalla forza esplosiva delle supernove. La fase successiva consiste nell'associazione dei nuclei per fabbricare atomi e molecole. Ma come favorire l'incontro tra i vari nuclei? Le nubi interstellari sono troppo poco dense per poter servire da luoghi d'incontro. I granuli di polvere interstellare, nati negli strati esterni delle stelle giganti rosse e proiettati nello spazio dalla loro combustione superficiale, vengono alla riscossa. Sono particelle di qualche centesimo di millimetro, e quindi gigantesche su scala atomica. Risultano dall'associazione di miliardi di atomi di silicio, di ossigeno, di magnesio e di ferro – disposti in una struttura reticolare rigida a opera delle forze elettromagnetiche – e consistono in un nucleo solido ricoperto di un sottilissimo strato di ghiaccio.

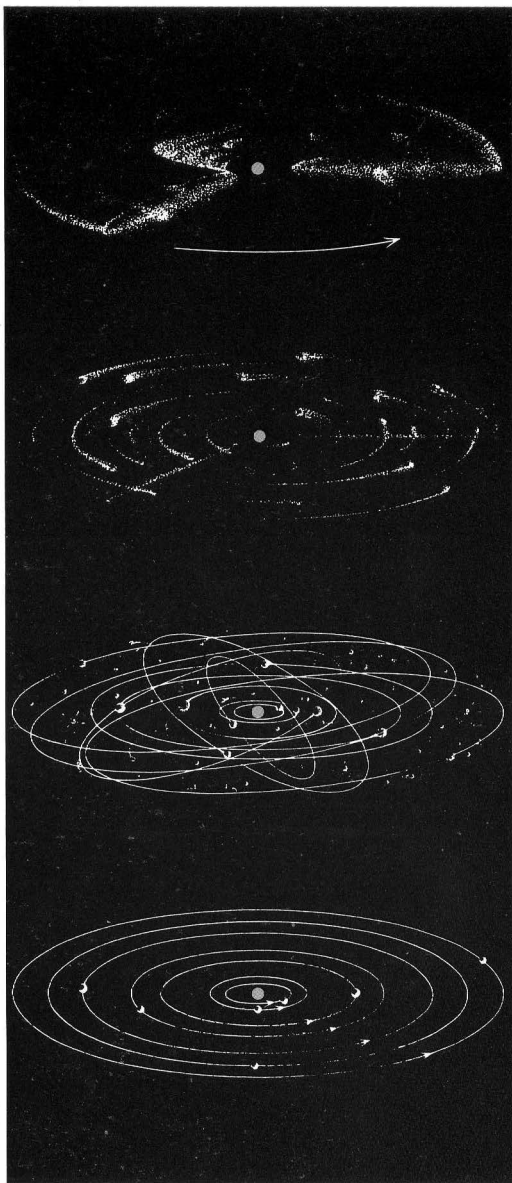
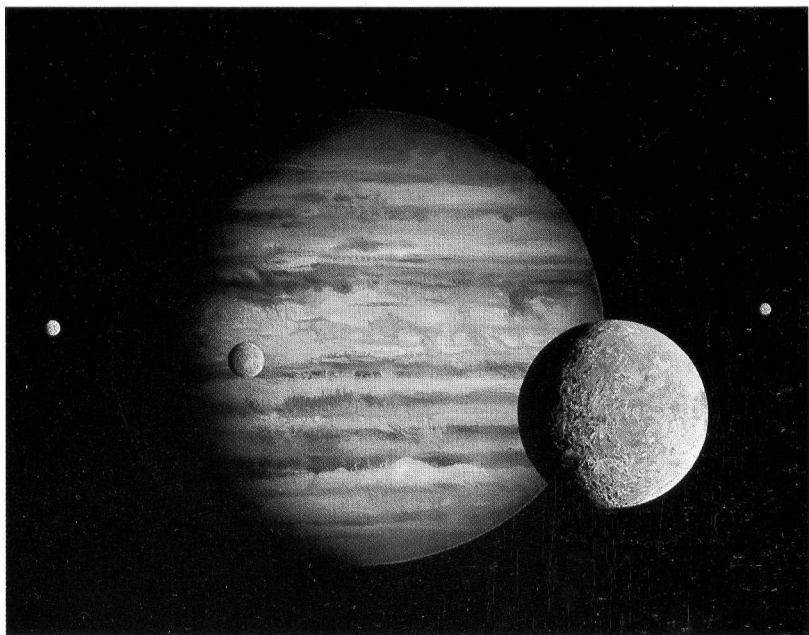
Sulla superficie dei granuli, terreni propizi agli incontri, i nuclei degli elementi pesanti fabbricati nel cuore delle stelle si accoppiano e si combinano. A fungere da collante è sempre la forza elettromagnetica. Nello spazio interstellare nascono molecole di due, tre, quattro e perfino dodici atomi: tra le più comuni, quelle di idrogeno (H_2), di monossido di carbonio (CO) e di acqua (H_2O), che svolgeranno un ruolo fondamentale nell'origine della vita e che coloreranno di azzurro il nostro pianeta. Vengono poi le molecole di metano (CH_4) e di ammoniaca (NH_3), responsabili degli effluvi malsani della primitiva atmosfera terrestre. I radioastronomi hanno individuato nello spazio interstellare un

Nello spazio interstellare si sono formate molecole d'acqua (struttura chimica a sinistra), di metano (a fianco) e di ammoniaca (a fronte, in basso). La Terra ha trattenuto solo quelle dell'acqua.

centinaio di molecole differenti, che prediligono di regola un quartetto di atomi: l'idrogeno (H), il carbonio (C), l'azoto (N) e l'ossigeno (O). Gli esseri viventi sono composti per oltre il 99 per cento di questi quattro elementi.

Certo è che le molecole interstellari sono ancora assai più semplici della doppia elica dell'acido desossiribonucleico (DNA), fondamento del vivente.

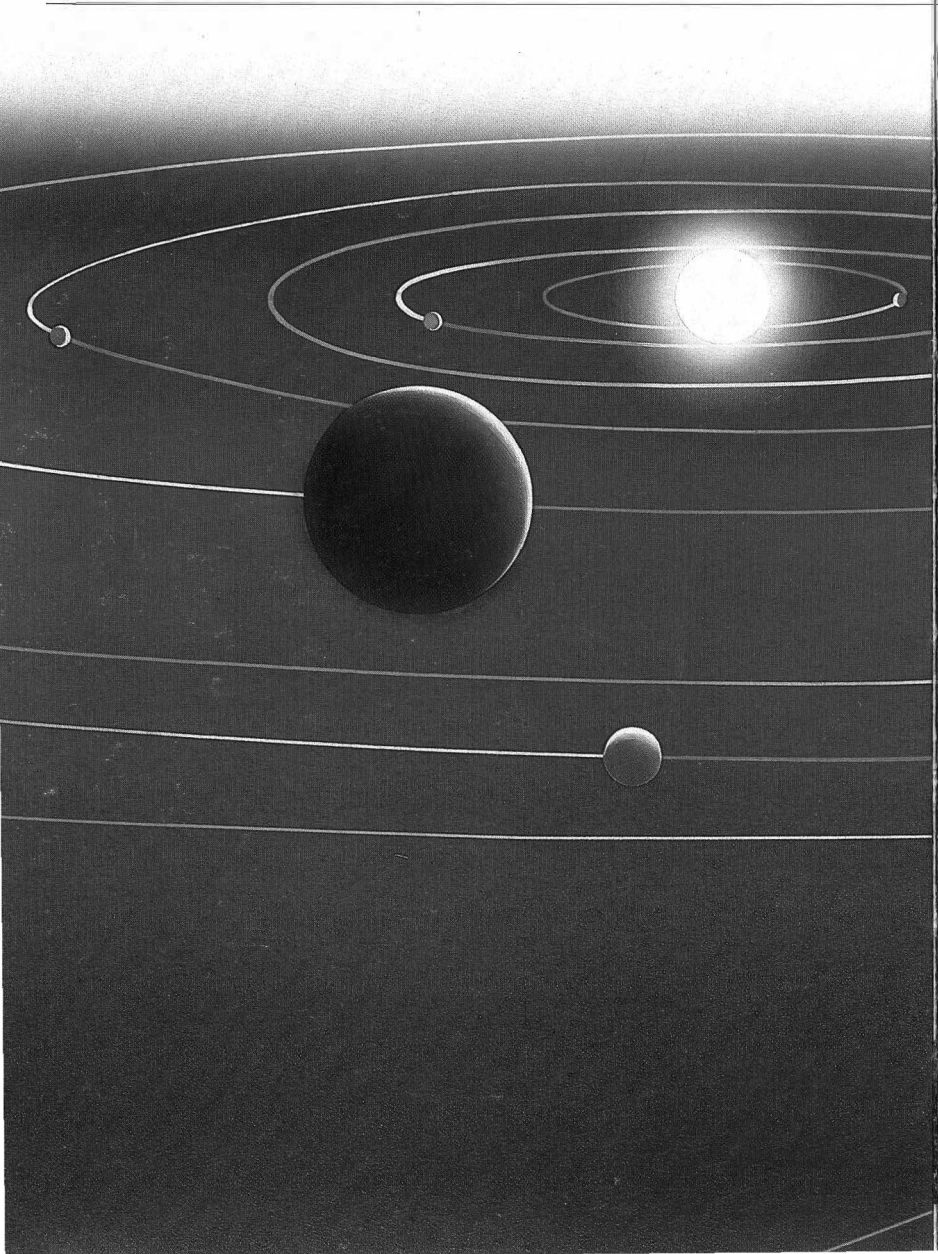
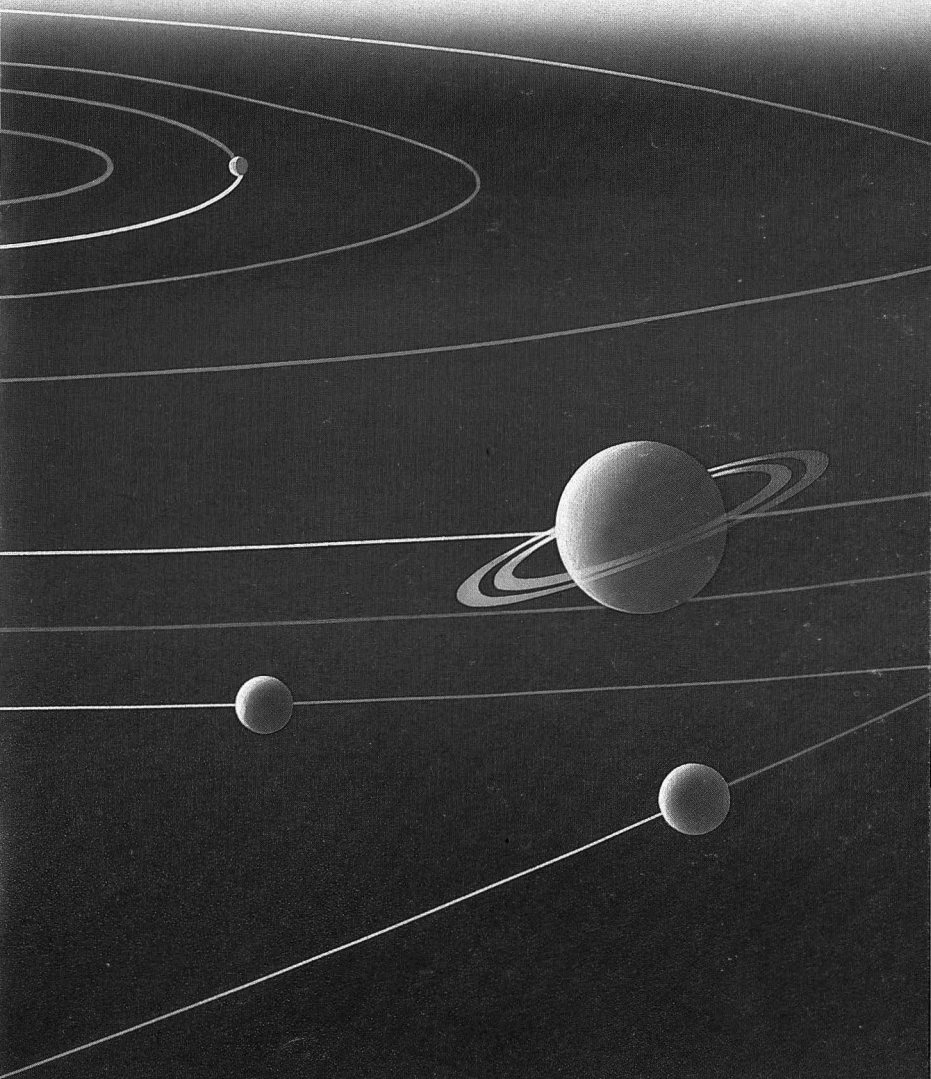
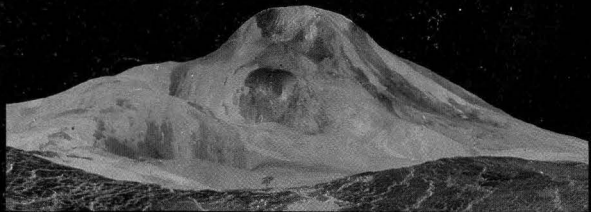
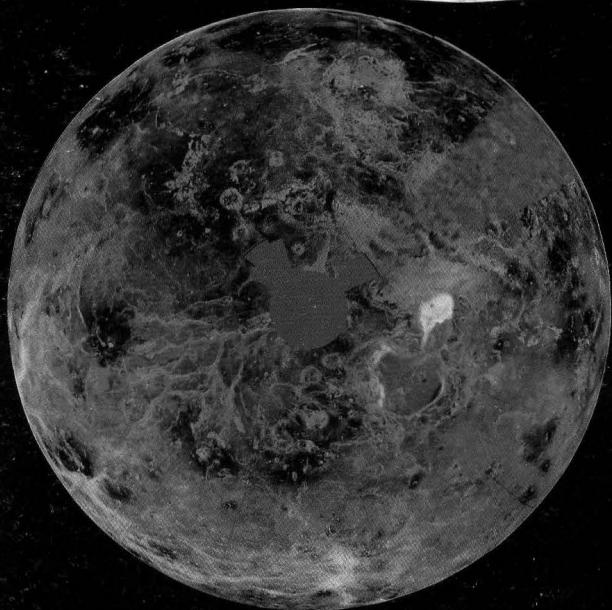
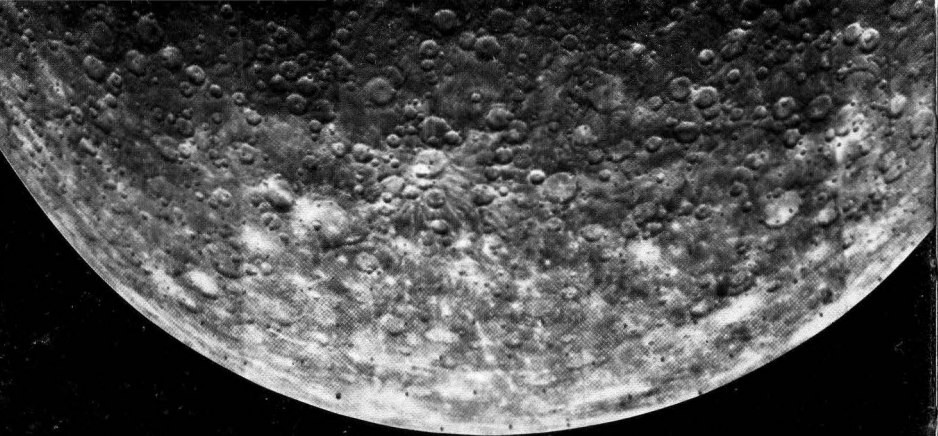
I granuli di polvere interstellare (sopra, un modello di struttura) sono i primi corpi solidi comparsi nell'universo.

La nascita del sistema solare

Come costruire strutture non di decine, ma di migliaia e milioni di atomi? Occorre un luogo d'incontro molto più propizio dello spazio interstellare, una culla più accogliente per generare la vita. Ed ecco il pianeta.

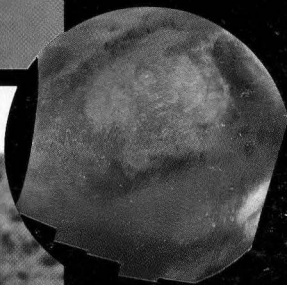
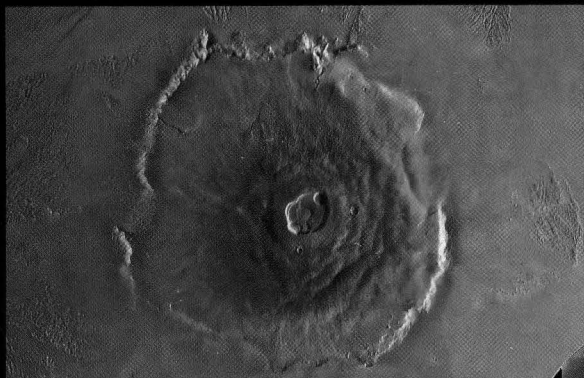
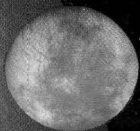
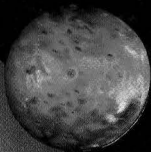
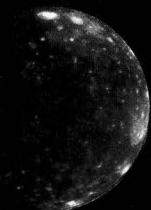
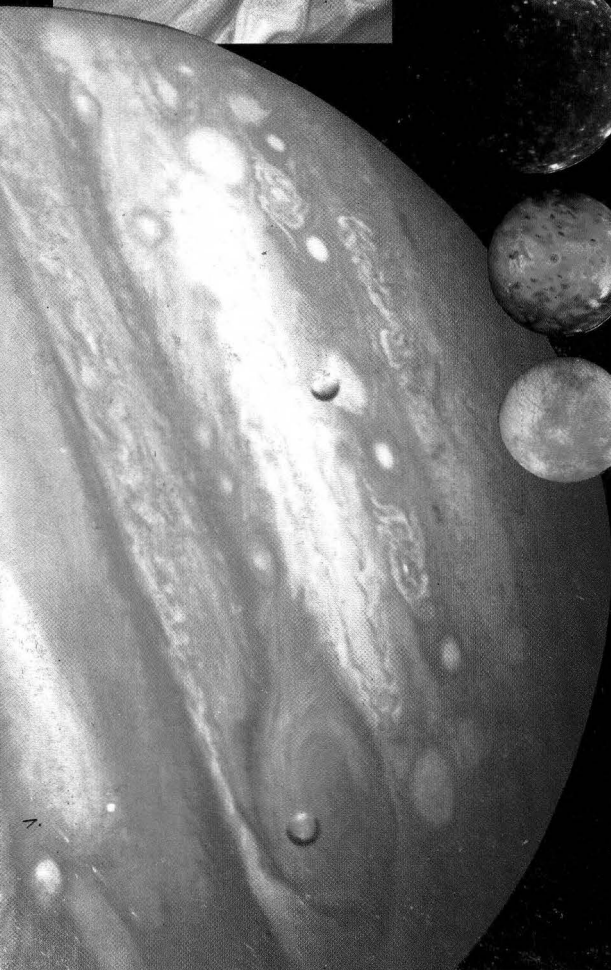
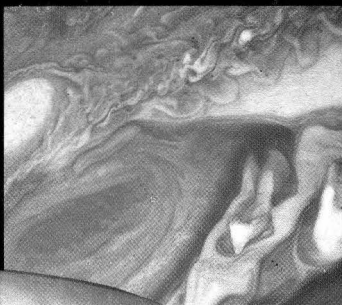
Per esemplificare la nascita di un pianeta si può prendere proprio il caso della Terra. L'orologio cosmico batte i 10 miliardi e 400 milioni di anni. L'universo ha continuato a espandersi, diluendosi e raffreddandosi sempre più. La tela cosmica dei superammassi, ammassi e gruppi di galassie è ormai tessuta. Generazioni di stelle hanno continuato a nascere e a morire, così che lo spazio interstellare delle galassie si è gradualmente arricchito di elementi pesanti. Tra le centinaia di miliardi di galassie che popolano l'universo c'è la Via Lattea. In un angoletto sperduto di quest'ultima, verso i due terzi della distanza dal centro al margine esterno, una nube interstellare si contrae.

Il suo nucleo sale a 10 milioni di gradi e innesca la combustione nucleare dell'idrogeno. La nube gassosa si incendia e diventa stella. Nasce il Sole.

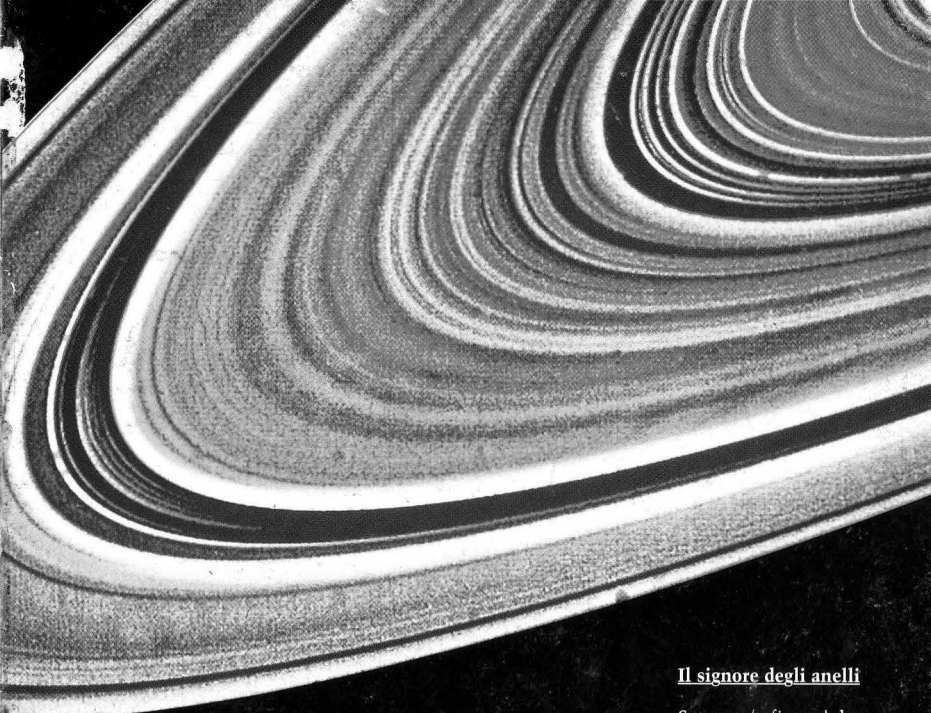
Nel momento della contrazione, immense quantità di granelli di polvere sfuggono alla nube e si mettono a girare intorno al Sole, formando una serie anelli concentrici, come quelli che circondano ancora Saturno. Nel cuore degli anelli esistono polveri un po' più dense delle altre, che, grazie alla loro maggiore gravità, cominciano a catturarne altre. Aumentando di massa e di gravità, intensificano il ritmo delle catture: presto, quasi tutta la materia degli anelli si concentra in nove corpi modellati a sfera dalla gravità. Ecco i pianeti. Intorno a ciascuno di essi (tranne Mercurio) si forma una corte di prodotti di condensazione più piccoli, le lune. La Terra ne ha una, mentre Giove e Saturno troneggiano in mezzo a oltre una decina di satelliti. È nato il sistema solare.

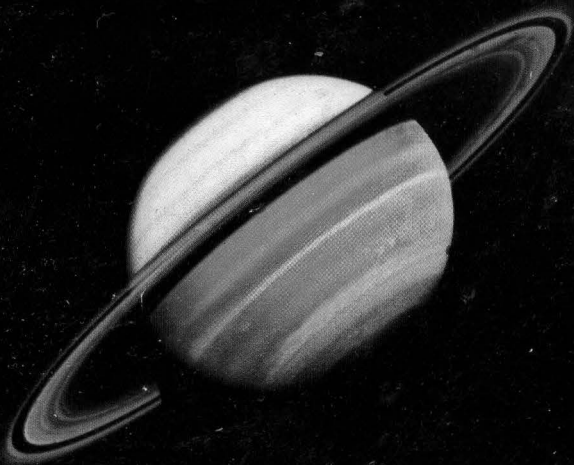
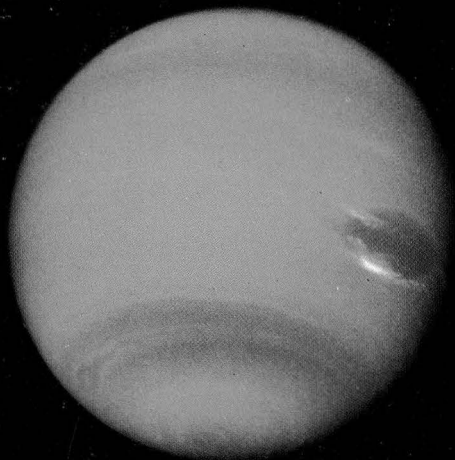
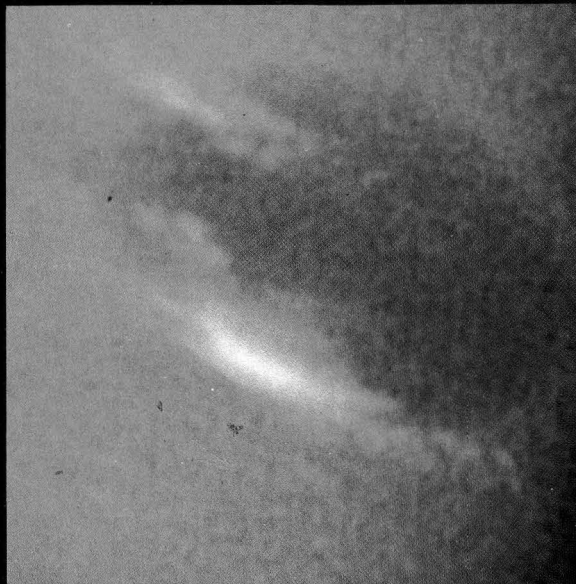
I pianeti del sistema solare (a fronte, il processo di formazione) si dividono in due categorie. Vicino al Sole, pianeti tellurici (Mercurio, Venere, Terra, Marte), di massa ridotta, con un terreno roccioso composto di elementi pesanti; hanno atmosfera poco densa o ne sono affatto privi. Più lontano, i pianeti giganti (Giove, Saturno, Urano e Nettuno): hanno massa notevole, superficie fluida e atmosfera assai densa, costituita soprattutto di elementi leggeri (in particolare idrogeno ed elio).

Mercurio e Venere

Mercurio, il pianeta più vicino al Sole (sopra), è difficilissimo da osservare dalla Terra, sia per la sua piccolezza sia per la luce accecante del Sole che lo nasconde. Nel 1974 gli americani hanno lanciato la sonda spaziale *Mariner 10*, che ci ha informato sulle principali caratteristiche del pianeta: ha la superficie crivellata di crateri ed è privo di atmosfera, in quanto la sua debole gravità non ha potuto trattenere l'atmosfera primitiva, surriscaldata dal Sole. Venere (a fianco) possiede invece un'atmosfera piuttosto densa, che blocca la luce visibile ma che lascia filtrare le radioonde. Il radar di bordo della sonda *Magellano*, lanciata verso il pianeta nel 1990, ha rivelato un paesaggio disseminato di crateri e di vulcani.

Il pianeta rosso

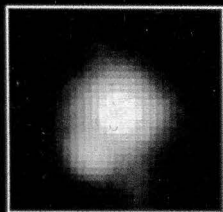
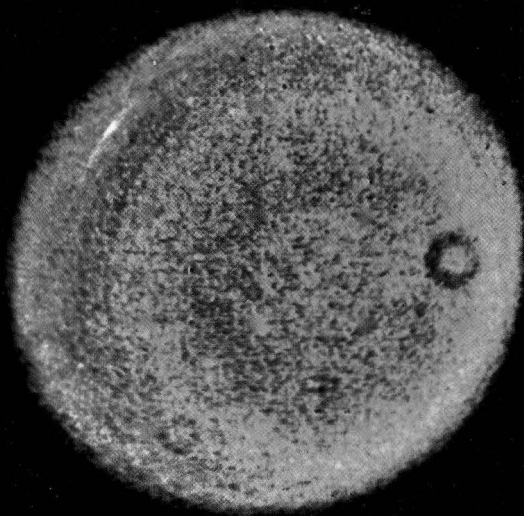
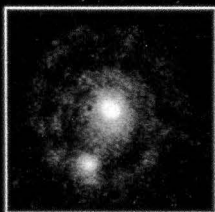
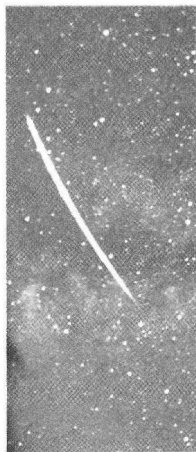
Marte ha sempre esercitato un grande fascino sull'uomo. Nel 1877 l'astronomo italiano Giovanni Schiaparelli (1835-1910) annuncia la scoperta di una rete di canali che solcano la superficie del pianeta; nasce così il mito dei marziani. Le foto inviate nel 1971 dalla sonda *Mariner 9* smentiscono l'esistenza sia dei canali, sia dei marziani, e ci trasmettono l'immagine di un pianeta arido, disseminato di crateri, di *canyon* e di giganteschi vulcani spenti (sopra). Il vulcano del monte Olimpo (in alto) ha un diametro di 600 km. Nel 1976 le sonde *Viking 1* e *2* si sono posate su Marte (a fianco). Il piccolo laboratorio installato a bordo del *Viking* ha compiuto esperimenti biologici per individuare la presenza di microrganismi, ma con esito negativo.

Giove, il colosso del sistema solare

Giove possiede una massa pari a 318 volte quella della Terra e a due volte e mezzo quella di tutti gli altri pianeti e satelliti messi insieme. Ha un diametro lungo 11 volte quello terrestre; tuttavia è il pianeta solare più veloce. Il nucleo, roccioso, è circondato di un'atmosfera di idrogeno e di elio che giunge a un'altezza di 20.000 chilometri. La rapida rotazione del pianeta provoca venti atmosferici fortissimi e continui, creando aree di alta pressione (le zone chiare nell'immagine a fianco) e di bassa pressione (colore più scuro) parallele all'equatore (a sinistra, sotto). L'atmosfera è perturbata da cicloni e dalla grande Macchia rossa (foto sopra) che potrebbe ingoiare tre pianeti come la Terra. Le sonde *Voyager* hanno fotografato il paesaggio dei quattro satelliti galileiani (a fianco, dall'alto in basso): Ganimede e Callisto, grandi come Mercurio; Io ed Europa, grandi come la Luna. La superficie di Ganimede e di Callisto è disseminata di crateri, il suolo ghiacciato di Europa è coperto di faglie, mentre su Io imperversano le eruzioni vulcaniche.

Il signore degli anelli

Saturno (a fianco) deve la sua fama agli anelli che lo circondano (sopra), costituiti di una sterminata quantità di frammenti rocciosi e di pezzi di ghiaccio che vanno dalla dimensione di un fiocco di neve a varie decine di metri di diametro. Ciascuno di questi frammenti segue una sua orbita precisa lungo il piano equatoriale del pianeta. Gli scienziati ritengono che i frammenti non si siano potuti agglomerare in satelliti a causa delle enormi forze gravitazionali esercitate dalla eccessiva vicinanza di Saturno.

Un mondo di ghiaccio

L'esistenza di Nettuno (a fianco, sotto) fu postulata dall'inglese John Adams nel 1841 e dal francese Urbain Le Verrier nel 1845. Il moto di Urano era infatti incomprensibile senza ipotizzare la forza gravitazionale aggiuntiva di un ottavo pianeta. Applicando le leggi di Newton, i due astronomi poterono valutare la posizione di Nettuno; l'esattezza dei loro calcoli trovò conferma nel 1846, quando l'astronomo tedesco Johann Galles osservò il pianeta proprio nel settore da loro indicato. Il *Voyager 2* lo ha accostato nel 1989. Nettuno possiede un'atmosfera azzurrastra, dovuta al metano di cui abbonda e che assorbe il giallo e il rosso dello spettro solare. Come nel caso di Giove, l'atmosfera di Nettuno è agitata da violenti cicloni, quale la Grande Macchia scura (nella foto sopra, sotto le nubi bianche), di dimensioni quasi pari a quelle della Terra. A causa della temperatura glaciale dell'atmosfera nettuniana (–213 °C) il metano vi si trova sotto forma di cristalli di ghiaccio che si radunano in nubi biancastre simili ai cirri terrestri.

Urano e Plutone

Urano (a fianco) dista dal Sole circa 3 miliardi di km. Il suo asse di rotazione è talmente inclinato, che i poli si trovano praticamente sul piano dell'orbita intorno al Sole. Di qui l'andamento stagionale davvero bizzarro che caratterizza il pianeta: 42 anni di luce diurna seguiti da 42 anni di oscurità (l'anno di Urano dura infatti 84 anni terrestri). Si ritiene che il pianeta sia stato "rovesciato di fianco" dal passaggio di un grosso asteroide nelle sue immediate vicinanze. Plutone, il nono pianeta del sistema solare, è stato scoperto solo nel 1930. Ha un'orbita davvero unica, molto eccentrica e inclinata di 17° rispetto alle orbite degli altri pianeti. Questa originalità induce a pensare che si tratti di un ex satellite di Nettuno proiettato fuori dalla sua orbita abituale dal transito di un corpo celeste di massa ingente. Nel 1978 si è scoperto che Plutone ha un satellite, denominato Caronte, da cui dista appena 19.700 km. Un telescopio situato sulla Terra li distingue a fatica (quadratino a fianco, a sinistra), mentre il telescopio spaziale *Hubble* ne rende un'immagine assai più chiara (quadratino a destra).

Il nostro pianeta Terra

La polvere restante si agglomera in migliaia di frammenti rocciosi di forma frastagliata (poiché non hanno la massa sufficiente per essere modellati a sfera dalla gravità) e di dimensione variabile da pochi millimetri a qualche chilometro: sono gli asteroidi. Oggi percorrono un'orbita intorno al Sole nello spazio interplanetario tra Marte e Giove, e formano la cosiddetta "fascia degli asteroidi". Quando si è formato il sistema solare, molti asteroidi sono venuti a schiantarsi sui giovani pianeti: lo attestano i crateri che crivellano la Luna e Mercurio. Sulla Terra, l'erosione esercitata dalla pioggia, dai fiumi, dai ghiacciai e dalla deriva dei continenti ha cancellato ogni traccia del lungo bombardamento. Alcuni impatti recenti hanno lasciato il segno: in Arizona, si può ammirare il Meteor Crater, un enorme catino di un chilometro di diametro,

Ogni giorno la Terra si arricchisce di 300 tonnellate di pietre e di polveri celesti; queste ultime provengono dagli asteroidi che bruciano entrando nell'atmosfera terrestre (a fianco). Gli asteroidi che cadono sulla Terra, per lo più piccoli e di massa trascurabile, non causano gravi danni. Diverso fu il caso dell'asteroide responsabile del Meteor Crater, in Arizona (sotto). L'oggetto celeste, di circa 50 m di diametro, colpì la Terra tra i 5000 e i 50.000 anni fa, a una velocità di 40.000 km/h. L'esplosione che ne seguì fu di una potenza pari a quella di una bomba all'idrogeno di 20 megatoni.

scavato circa 30.000 anni fa nella crosta terrestre dall'impatto di un asteroide. Di tanto in tanto certi piccoli asteroidi, i meteoriti, penetrano nell'atmosfera terrestre. Poiché l'attrito con l'atmosfera li brucia, tracciano scie infocate nelle notti stellate, in una fantasmagoria simile ai fuochi d'artificio. Quando cadono sulla Terra, sono ridotti a ciottoli calcinati. Alcuni vengono analizzati nei laboratori, dove, a partire dalla loro composizione chimica, gli scienziati ricostruiscono la vicenda della formazione del sistema solare.

La lava incandescente eruttata dai vulcani è costituita di roccia fusa. In origine la Terra era letteralmente ricoperta di lava. L'enorme calore dei vulcani risale al periodo di intenso bombardamento della crosta da parte degli asteroidi, quando il sistema solare era ancora in formazione. D'altronde, l'interno della Terra contiene atomi radioattivi che si disintegrano, sommando il loro calore con quello prodotto dalla collisione con gli asteroidi. Questo calore continua ancora a liberarsi dalle viscere del nostro pianeta. Provoca la deriva dei continenti, lanciando le piattaforme continentali le une contro le altre e sollevando così intere catene di montagne. Per esempio, la catena dell'Himalaya è il risultato dell'urto della piattaforma indiana contro la piattaforma eurasiatica. Al confine delle piattaforme, le forze di compressione sono tanto elevate da far tremare la Terra. Lungo la faglia di San Andreas, punto d'incontro della piattaforma nordamericana e di quella del Pacifico, i californiani vivono nella continua, angosciosa attesa di qualche sisma rovinoso.

Una storia d'acqua e di diluvi

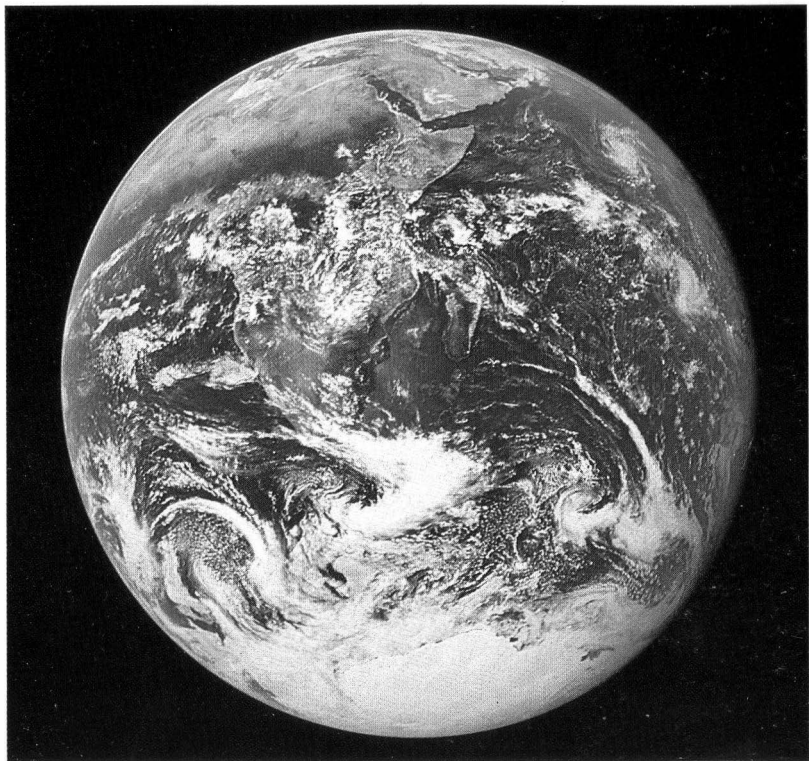
Inventati i pianeti, la natura è pronta a fabbricare la vita. Qui trova una potente alleata, l'acqua; una molecola che, come si è visto, è stata fabbricata nel gelido spazio interstellare a partire da frammenti di stelle morte.

Dalla nascita del Sole è trascorso più o meno un miliardo di anni. La Terra, solcata da sterminate fiumane di lava incandescente riversate in superficie da una miriade di vulcani, si è notevolmente raffreddata. Mentre si solidifica e nasce l'embrione di un unico, immenso continente (Pangea), la lava esala le grandi quantità di gas contenute all'interno della crosta. La Terra si ricopre di un'atmosfera cento volte più

densa dell'attuale, composta di idrogeno, di ammoniaca, di metano, di vapore acqueo, di anidride carbonica, e dunque inadatta alla vita. Il pianeta si raffredda sempre più, provocando la condensazione dell'acqua contenuta nell'atmosfera primitiva. Veri diluvi inondano la Terra e ne ricoprono i tre quarti della superficie con un unico, gigantesco oceano.

Il segreto dell'immortalità

L'acqua comincia a operare da catalizzatore della vita. Dotata com'è di grande potere di dissoluzione, può accogliere innumerevoli molecole ospiti. Milioni di miliardi di miliardi di volte più densa dell'ambiente interstellare, è punto di incontro per eccellenza: protegge i propri ospiti dagli effetti nocivi dei

La nascita della vita sul pianeta azzurro, a partire da atomi inorganici fabbricati nei nuclei stellari, rimane un mistero. Si sa che l'acqua ha svolto un ruolo essenziale. Probabilmente la vita ha trovato origine nell'atmosfera primitiva della Terra. Nel 1953 i chimici statunitensi Stanley Miller e Harold Urey hanno compiuto un esperimento rimasto celebre, riproducendo in provetta la primitiva atmosfera terrestre: un miscuglio di ammoniaca, di metano, di idrogeno e di vapore acqueo, sottoposto a scariche elettriche per simulare gli uragani che imperversavano sulla Terra 4,6 miliardi di anni fa. Dopo una settimana sono comparse alcune molecole base della vita, gli amminoacidi. Miller e Urey erano sulla buona strada, ma dagli amminoacidi alla doppia elica del DNA (a fianco il modello di struttura), e ancor più all'emergere della coscienza di sé, il passo è davvero lungo.

raggi ultravioletti del giovane Sole, dalle potenti scariche elettriche e dalle folgori prodotte dagli uragani che infuriano di continuo.

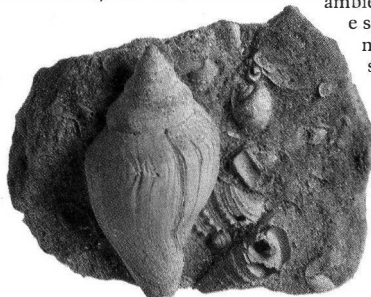
In questo ambiente privilegiato le molecole semplici dell'atmosfera si scatenano in un'autentica orgia di accoppiamenti. In alcune centinaia di milioni di anni, la scala della complessità biologica si arricchisce di molti gradini. In un primo tempo, compare una ventina di amminoacidi, ciascuno dei quali consta di una trentina di atomi. Poi gli amminoacidi si saldano in lunghe catene, le proteine. Infine, le proteine si uniscono per formare la doppia elica delle molecole di acido desossiribonucleico (DNA), interminabili filamenti di molti milioni di atomi.

La Terra che vaga nella tenebra dello spazio può assurgere a simbolo di unicità e insieme di fragilità. Di unicità, perché è il solo pianeta solare a possedere gli oceani, che le conferiscono il caratteristico colore azzurrino. Di fragilità, perché nell'ultima fase della sua storia l'uomo ha cominciato ad alterare drammaticamente, e forse irreversibilmente, il proprio ambiente.

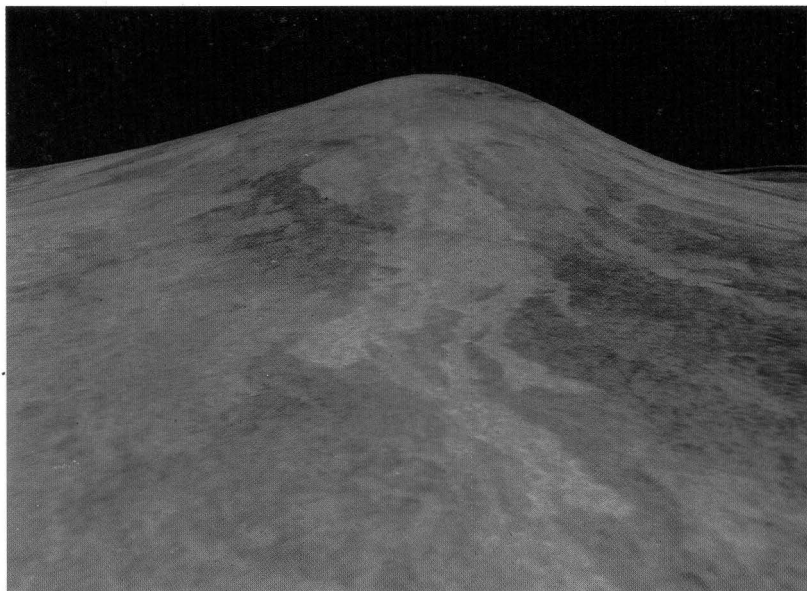
Queste molecole hanno scoperto il segreto dell'immortalità, giacché possono riprodursi: saranno loro a trasmettere il patrimonio genetico proprio di ogni essere vivente. Quando l'orologio cosmico batte gli 11,5 miliardi di anni, le catene di acido desossiribonucleico si combinano in cellule composte da milioni di miliardi di atomi. L'oceano primordiale pullula di organismi monocellulari quali batteri e alghe azzurre.

Il lungo cammino verso la vita

Per circa 3 miliardi di anni la natura sembra fermarsi, per ripartire frenetica quando l'orologio cosmico batte i 14,4 miliardi di anni, cioè 600 milioni di anni fa. In poche centinaia di milioni di anni compaiono le meduse, i molluschi, i crostacei e i pesci. Dopo altri 150 milioni di anni la Terra si riveste di piante erbacee, di arbusti e di foreste. Mediante la fotosintesi clorofilliana, le specie vegetali utilizzano l'energia solare per convertire i propri elementi in zucchero e liberare ossigeno. Gli atomi di ossigeno si raggruppano a tre a tre per formare l'ozono (O_3), e nell'atmosfera si forma una fascia di tale elemento che filtra i dannosi raggi ultravioletti del Sole; così la vita animale può uscire dall'acqua e invadere le terre emerse. Duecentocinquanta milioni di anni fa compaiono i rettili e gli uccelli. Passano altri 25 milioni di anni ed entrano in scena i

Secondo il naturalista inglese Charles Darwin, l'evoluzione delle specie viventi, dalla cellula primordiale all'essere umano, è innescata dalla casualità delle mutazioni genetiche e determinata, in ultima analisi, dalle rigide leggi della selezione naturale. Le specie meglio adattate al loro ambiente proliferano e si perfezionano, mentre le altre spariscono. Per difendersi dai loro predatori, certi organismi primitivi sviluppano un'armatura; ed ecco comparire le conchiglie (a fianco).

dinosauri, che si estinguono dopo quasi 150 milioni di anni. La loro sparizione dà il via al dominio dei mammiferi. Le scimmie compaiono circa venti milioni di anni fa, e il primo *Homo habilis* circa due milioni di anni fa.

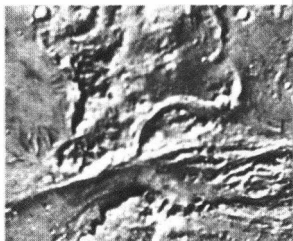
In 15 miliardi di anni l'universo, in principio vuoto assoluto interrotto solo da un punticino di materia inconcepibilmente densa, costruisce esseri umani costituiti da 30 miliardi di miliardi di miliardi di atomi, con un cervello composto di centinaia di miliardi di neuroni.

La comparsa di specie animali più adatte non significa che le specie precedenti siano condannate all'estinzione. Sotto e a fronte, due disegni raffiguranti un ipotetico paesaggio del primo periodo del Giurassico.

La ghiacciaia e la fornace

La vita è limitata alla Terra? L'uomo è il solo essere intelligente dell'universo? C'è solo lui a sentirne l'arcana melodia?

Sembra proprio che, tra i nove pianeti del sistema solare, la Terra sia l'unica a ospitare la vita. Dopo quello terrestre, il più propizio sembra l'ambiente marziano. Sennonché, esplorato dalle sonde americane *Viking*, Marte non ha rivelato la presenza di alcuna forma di vita. Gli altri pianeti, troppo caldi o troppo freddi, non offrono maggiori speranze. La loro atmosfera è soffocante o, al contrario, troppo poco densa.

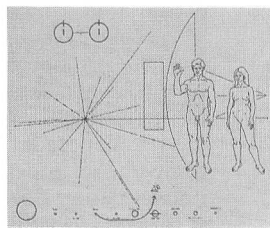
Premesso che ogni ipotesi di vita extraterrestre si fonda sui modelli terrestri, gli unici attualmente disponibili, la culla ideale della vita deve contenere acqua e avere una temperatura superficiale compresa tra gli 0° e i 100 °C. Queste condizioni presuppongono che il pianeta ospite si trovi a una determinata distanza dal Sole. Se la Terra fosse nata oltre Giove, sarebbe diventata

L'acqua che scorreva sulla superficie di Marte circa quattro miliardi di anni fa è evaporata, lasciando solo meandri di fiumi prosciugati (sotto). La superficie ardente di Venere, invece, è spazzata da fiumane di lava rosseggiante (sopra).

un mondo gelido e desolato, proprio come certi satelliti dello stesso Giove e di Saturno, e la vita non si sarebbe sviluppata. Viceversa, una eccessiva vicinanza rispetto al Sole avrebbe fatto evaporare la sua atmosfera, trasformandola in un pianeta ardente, arido e privo di vita come Mercurio. Un po' più lontano dal Sole, alla distanza di Venere, il calore meno intenso le avrebbe consentito di trattenere l'atmosfera, ma la temperatura sarebbe ancora troppo elevata per permettere all'acqua di condensarsi. Mancando gli oceani capaci di discioglierla, l'anidride carbonica resterebbe intrappolata nell'atmosfera primordiale e provocherebbe un imponente effetto serra, trasformando il pianeta in una fornace ove il calore stroncherebbe sul nascere ogni conato di vita. Venere ha subito questa sorte: la sua temperatura superficiale è di circa 500 °C. Tra i nove pianeti del sistema solare, solo la Terra si trova alla distanza giusta per essere abitabile.

L'uomo e la sua tecnologia hanno cominciato a perturbare gravemente l'equilibrio della biosfera. La fascia dell'ozono, che protegge la vita dai letali effetti dei raggi ultravioletti emanati dal Sole, si è squarciata sopra l'Antartide (foto sopra). Gli scienziati ritengono che questo foro, che sembra ingrandirsi col trascorrere del tempo, sia il risultato dell'interazione dell'ozono con i clorofluorocarburi, complesse molecole sintetiche usate nelle serpentine dei frigoriferi e, fino a qualche tempo fa, come propellenti per le bombolette spray. Oggi l'industria si muove alla ricerca di prodotti alternativi.

La ricerca dei mondi abitati

Ciò significa forse che l'uomo è solo nell'universo? Sembra assai improbabile. In fin dei conti, l'universo osservabile contiene cento miliardi di galassie, ciascuna delle quali ospita circa cento miliardi di stelle. Se ogni stella possedesse, come il Sole, una corte di una decina di pianeti, nel

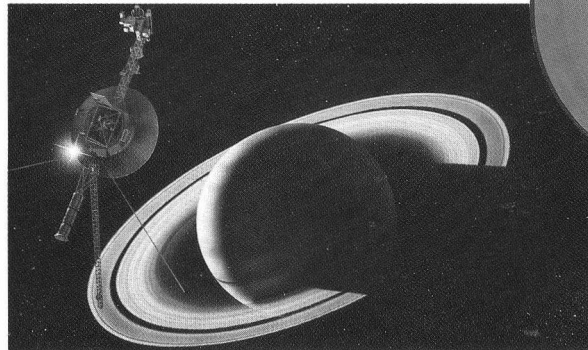
Fino a oggi i telescopi non sono riusciti a individuare direttamente un pianeta fuori del sistema solare. Il telescopio spaziale *Hubble* avrebbe dovuto svolgere questo compito, ma un difetto di costruzione gli vieta di portarlo a termine. Ciò nonostante, è certo che il sistema solare non è l'unico della Via Lattea. Gli astronomi pensano di vedere un sistema solare in formazione intorno alla stella *beta* Pictoris (a fianco, al centro della foto all'infrarosso). È circondata da un disco di polveri che appare rosso e giallo nell'immagine all'infrarosso, e che somiglia molto a quello che ha originato il nostro sistema. Il disco, visto qui di taglio, è molto giovane; forse si è formato da poche centinaia di milioni di anni. Sui pianeti che nasceranno intorno a *beta* Pictoris, uno sarà forse in grado di ospitare la vita.

cosmo esisterebbero centomila miliardi di miliardi (10^{23}) di pianeti. Poiché la posizione della Terra nello spazio e nel tempo non è per nulla eccezionale, perché dovrebbe esserlo la vita?

Per gli astronomi contemporanei la ricerca di altri mondi abitati non è più un'invenzione della fantascienza. Per raggiungere l'obiettivo si stanno compiendo notevoli sforzi. Ma dove, e come, cercare? Una prima tattica assomiglia a quella del naufrago che getta in mare la classica bottiglia: inviare sonde interstellari con messaggi a bordo. Sulle prime due macchine costruite dall'uomo per varcare i confini del sistema solare, cioè le sonde spaziali *Pioneer 10* e *Pioneer 11*, è fissata una piastra di alluminio ove sono raffigurati un uomo e una donna e che indica a eventuali extraterrestri visitatori la posizione della Terra nella Via Lattea. Le due sonde interstellari successive, *Voyager 1* e *Voyager 2*, contengono un videodisco con immagini di vita terrestre e un microsolco di rame con suoni caratteristici del pianeta: una sinfonia di Beethoven, lo schiocco di un bacio, un brano di jazz...

Ma un mezzo di comunicazione del genere non è certo ideale. In primo luogo, sembra poco probabile che queste "bottiglie spaziali" possano mai incontrare qualche destinatario. Inoltre, le sonde spaziali procedono a passo di tartaruga nell'immensità dello spazio cosmico. Benché molto più veloci di qualsiasi veicolo terrestre, dovranno viaggiare per circa 40.000 anni prima di raggiungere la stella più vicina!

Il disco qui sotto, lanciato a bordo del *Voyager*, forse non giungerà mai a un extraterrestre, ma se non altro è servito a sensibilizzare miliardi di terrestri al problema dell'esistenza di altre intelligenze nel cosmo.

"Terra chiama cosmo. Ci sentite?"

Per comunicare con eventuali extraterrestri, è più efficace inviare o ascoltare segnali radio. I radiomessaggi viaggiano alla velocità della luce, la maggiore dell'universo. Invece

di 40.000 anni, i messaggi radio ne impiegherebbero appena quattro per valicare lo spazio che ci separa dalla stella più vicina. Ma, tra gli innumerevoli pianeti, stelle e galassie del cosmo, dove inviare e ascoltare i segnali? E su quale frequenza?

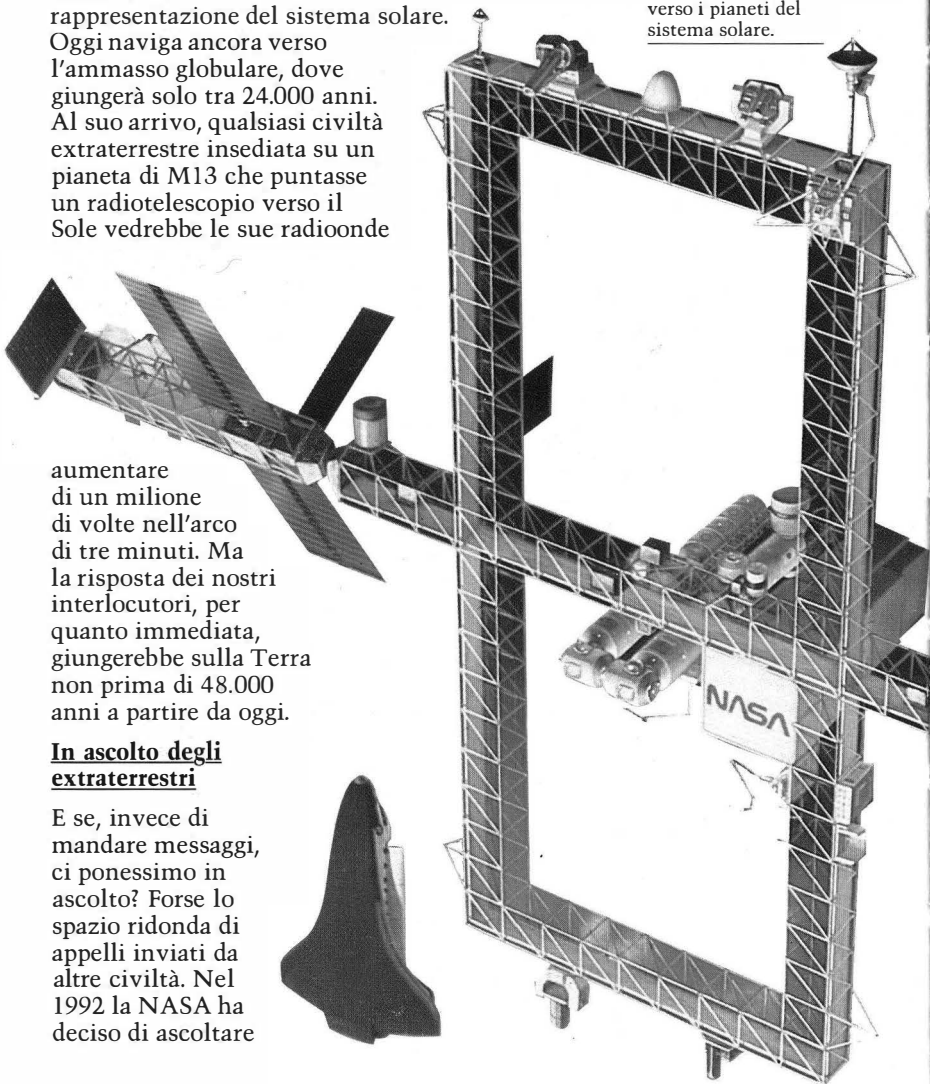
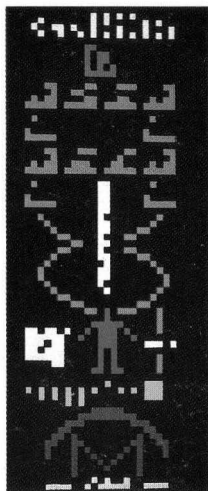
Il primo – e fino a oggi unico – messaggio terrestre è stato lanciato nel 1974 dal più grande radiotelescopio del mondo, che sorge ad Arecibo (Portorico). La destinazione era l'ammasso globulare M13, un ammasso sferico di 300.000 stelle legate tra loro dalla gravità. Si sperava così di raggiungere in un colpo solo molti potenziali ascoltatori extraterrestri. Poiché l'idrogeno costituisce i tre quarti della massa dell'universo, fu utilizzata la frequenza del suo atomo,

Negli Stati Uniti, la targa fissata sulla parete esterna di *Pioneer 10* e *11* (a fronte, al centro) ha suscitato vivaci polemiche. Le femministe hanno protestato per il fatto che solo l'uomo abbia il braccio levato in segno di saluto. Gli ideatori del disegno hanno replicato che, se anche la donna avesse il braccio alzato, gli alieni forse riterrebbero costante quella postura. La donna, inoltre, è asessuata: puritanesimo della NASA? Sopra, al centro, la sonda *Pioneer*.

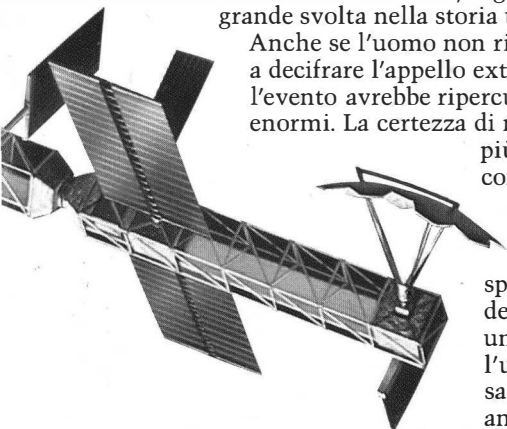
presumibilmente familiare anche agli extraterrestri. Il messaggio conteneva le cifre da 1 a 10, il peso atomico di alcuni elementi fondamentali, la formula chimica dell'acido desossiribonucleico e la rappresentazione del sistema solare. Oggi naviga ancora verso l'ammasso globulare, dove giungerà solo tra 24.000 anni. Al suo arrivo, qualsiasi civiltà extraterrestre insediata su un pianeta di M13 che puntasse un radiotelescopio verso il Sole vedrebbe le sue radioonde aumentare di un milione di volte nell'arco di tre minuti. Ma la risposta dei nostri interlocutori, per quanto immediata, giungerebbe sulla Terra non prima di 48.000 anni a partire da oggi.

La stazione spaziale *Freedom* consentirà all'uomo del XXI secolo di adattarsi all'imponderabilità e di lanciare spedizioni verso i pianeti del sistema solare.

In ascolto degli extraterrestri

E se, invece di mandare messaggi, ci ponessimo in ascolto? Forse lo spazio ridonda di appelli inviati da altre civiltà. Nel 1992 la NASA ha deciso di ascoltare

metodicamente, su due frequenze precise, mille stelle simili al Sole, e di perlustrare qua e là il cielo su diversi milioni di frequenze, in modo da captare i segnali artificiali emessi da qualche lontana civiltà. Il giorno in cui il silenzio del cosmo sarà interrotto, segnerà una grande svolta nella storia umana.

Anche se l'uomo non riuscisse mai a decifrare l'appello extraterrestre, l'evento avrebbe ripercussioni enormi. La certezza di non essere più soli ci consentirebbe di riflettere meglio sulla specificità della specie umana; e l'universo sarebbe meno angosciante, perché sapremmo che da qualche altra parte esistono altri esseri capaci di estasiarsi davanti alla bellezza del cosmo.

Sopra, a sinistra, il radiotelescopio di Arecibo, nei Caraibi. Con un diametro di 305 metri, è il più grande "orecchio" esistente sulla Terra. Fissato al suolo, l'apparato può osservare solo gli oggetti celesti situati allo zenit, che sfilano sopra al telescopio grazie alla rotazione terrestre. Sopra, la traduzione visiva del messaggio inviato dal telescopio nel 1974 sulla frequenza di 2380 MHz. L'emissione di radioonde, un milione di volte più potente dell'emissione solare sulla stessa frequenza, potrebbe venir captata da telescopi extraterrestri di potenza paragonabile e lontane svariate migliaia di anni-luce.

Il calendario cosmico

Nell'ambito dell'evoluzione del cosmo, la storia umana rappresenta un batter d'occhio. Immaginiamo di comprimere in un anno solo i quindici miliardi di anni trascorsi dal Big Bang: il Big Bang avverrebbe il 1° gennaio, la Via Lattea si formerebbe il 1° aprile e il sistema solare il 9 settembre. L'evoluzione darwiniana delle specie si svolgerebbe nella seconda quindicina di dicembre secondo la seguente scaletta.

19: primi pesci e vertebrati.
20: prime piante.
21: primi insetti.
23: primi rettili.
24: primi dinosauri.
26: primi mammiferi.
27: primi uccelli.
28: fine dei dinosauri.

Tutta la storia umana occuperebbe l'ultima ora e mezzo del 31 dicembre.

22.30': primi uomini.
23.59': Stonehenge.
23.59'.50'': civiltà egizia.
23.59'.55'': nascita di Buddha.
23.59'.56'': nascita di Gesù Cristo.
23.59'.59'': Rinascimento europeo.
24.00: teorie del Big Bang e della Relatività; esplorazione dello spazio.

1° gennaio –

1° aprile –
9 settembre –
9 ottobre –
1° novembre –
19 dicembre –

20 dicembre –
21 dicembre –
23 dicembre –
24 dicembre –
26 dicembre –
27 dicembre –
28 dicembre –
31 dicembre –
22.30' –
23.59' –
23.59'.50'' –

23.59'.55'' –
23.59'.56'' –
23.59'.59'' –
24.00 –
TVC

"Voglio capire come Dio ha creato il mondo.

Nel 1915, dopo lunghi calcoli, Albert Einstein pubblica la sua teoria della gravitazione universale denominata "Relatività generale", che sostituisce il sistema newtoniano e che costituisce una delle più armoniche architetture intellettuali mai edificate dall'ingegno umano.

Non mi interessa questo o quel fenomeno in particolare: voglio

Mentre l'universo di Newton è statico, quello di Einstein diventa dinamico: lo spazio e il tempo possono dilatarsi e restringersi. Inoltre, lo spazio si curva in rapporto alla gravità. Secondo Newton, la Luna gira intorno alla Terra perché la forza di gravità le lega l'una all'altra.

penetrare a fondo il Suo pensiero. Il resto sono solo minuzie."

Albert Einstein

Nell'universo di Einstein non ci sono più forze. La Luna segue la propria orbita ellittica perché questa è la sola traiettoria possibile nello spazio, curvato dalla gravità terrestre. Oggi, la teoria della Relatività rappresenta la migliore descrizione nota dell'universo.

TESTIMONIANZE E DOCUMENTI

In principio

Al di là della loro comune forza poetica, gli antichi miti cosmologici presentano notevoli differenze. Così, l'inno vedico sulla creazione è pervaso dal dubbio; il Popul Vuh *ci presenta un cielo e un mare silenti e quasi cristallizzati; e al gioioso fermento di vita della* Teogonia *fa da contraltare la nuda voragine dell'*Edda.

Il calendario azteco o "pietra del Sole", monolito di basalto del regno di Montezuma II (1502-1520).

Esiodo e l'origine del mondo

Per molto tempo i poemetti didascalici di Esiodo (VIII secolo a.C.) furono letti e studiati dalla gioventù greca, in particolare ateniese. Nella prima parte della Teogonia *("La nascita degli dèi") il poeta di Ascra narra l'origine del mondo. La traduzione del passo che segue (vv. 104-138) è quella di A. Colonna (Esiodo,* Opere, *UTET, Torino, 1983).*

Salute, o figlie di Zeus, concedete un canto pieno di fascino! Celebrate la santa progenie degli immortali sempiterni, i quali son nati dalla Terra e dal Cielo stellato, e dalla Notte tenebrosa, e quelli che nutrì il salso Mare. Narrate, come in principio nacquero gli dèi e la terra, e i fiumi, e il mare sconfinato ribollente

Statuette lignee raffiguranti Zeus ed Era, arte ionica (IX secolo a.C.).

di flutti, gli astri scintillanti e l'immenso cielo di sopra. Narrate come essi spartirono le loro ricchezze, come si divisero gli onori, e infine come per prima cosa essi occuparono l'Olimpo ricco di gole: queste cose ditemi, o Muse, che abitate le dimore dell'Olimpo, cominciando dall'inizio, e dite chi per primo fra essi venne alla luce.

All'inizio, per primo, fu il Caos; in seguito, quindi, la Terra dal largo petto, dimora sicura per sempre di tutti gli immortali che abitano le cime del nevoso Olimpo, e il Tartaro tenebroso nei recessi della Terra dalle larghe vie; quindi venne Eros (Amore), il più bello fra gli dèi immortali, colui che scioglie le membra, che di tutti gli dèi e di tutti gli uomini doma nel petto l'animo e i saggi consigli.

Dal Caos nacquero l'Erebo e la nera Notte; dalla Notte quindi nacque l'Etere e il Giorno, che ella partorì dopo averli concepiti unita in amore con l'Erebo. Poi, la Terra per prima generò eguale a se stessa il Cielo stellato, tale che la coprisse in ogni sua parte, per farne la sicura dimora sempiterna degli dèi beati, e generò le ampie montagne, amena dimora delle dèe Ninfe, le quali stanno sui monti selvosi; generò ancora il pelago scintillante, ribollente di flutti, il Mare, senza l'aiuto del tenero amore. Quindi appresso, unitasi al Cielo, generò l'Oceano dai profondi vortici, e Ceo e Creio e Iperione e Giapeto, Tia e Rea e Temi e Mnemosyne (Memoria), e Febe dall'aurea corona, e l'amabile Teti. E dopo di essi venne alla luce il più giovane, Crono dai tortuosi pensieri, il più terribile dei figli, che prese in odio il genitore dal grande vigore.

Esiodo

Scena di cosmogonia dal sarcofago di Butehamon, XXI dinastia.

Inno vedico sulla creazione

Il Rigveda *("Veda degli Inni") è una raccolta poetica di 1028 inni dedicati alle numerose divinità del politeismo indiano. È diviso in 10 libri, scritti in varie epoche (dal 1500 al 1000 a.C.). Dal libro X riportiamo l'*Inno della Creazione *(in* Breve storia delle religioni, *Mondadori, Milano, 1972).*

A quel tempo non era né il non-esistente, né ciò che esiste:
Non il regno dell'aria, né, sotto di esso, il cielo.
Che cosa copriva, e dove? Che cosa dava riparo?
Forse l'acqua c'era, una smisurata profondità d'acqua?
A quel tempo non c'era la morte, né cosa che fosse immortale:
Non c'era segno che dividesse la notte dal giorno.
Un'unica cosa senza vita, esalata dalla sua stessa natura:
Nient'altro esisteva.
Era l'oscurità; e nell'oscurità dapprima nascosto
Questo Tutto era caos indistinto.
Tutto ciò che esisteva era vuoto e informe,
Dalla forza del calore nacque la prima unità.
Poi sorse dapprima il desiderio, il primo seme e germe dello spirito.
Indagando con puro pensiero i saggi scoprirono
La natura dell'esistente nel non esistente.
Contorta era la linea che li divideva:
Che cosa dunque era sopra e che cosa al di sotto?
C'erano procreatori, c'eran forze possenti,
Qui libera azione, ed energia lassù.
Chi sa con certezza, chi può qua dichiarare
Donde è nata e donde viene la creazione?
Gli dèi nacquero che già il mondo era stato prodotto.
Chi sa dunque da dove esso ebbe la vita?
Colui a cui risale l'origine della creazione,
Ne sia lui l'autore o non lo sia,
Colui che dal cielo più alto ha il controllo del mondo,
Lo saprà con certezza, o, forse, neppur lui lo sa.

L'*Edda* e il nulla

*L'*Edda *è una raccolta di 29 carmi precristiani elaborati tra il X e il XIII secolo in Islanda. Scritta in lingua norrena (antico idioma germanico dell'Europa nord-occidentale), l'*Edda *fu ritrovata nel Seicento dal vescovo Sveinsson, che la trascrisse da un codice islandese del XIII secolo. Il breve brano che riportiamo (edizione a cura di G. Dolfini, Adelphi, Milano, 1982) è tratto dall'opera omonima di Snorri Sturluson (1178-1241), che, esponendo i principi dell'arte poetica, cita largamente la prima* Edda, *rielaborandone in prosa le vicende. La* Völuspá *cui si accenna nel testo è il primo carme della raccolta.*

Gangleri domandò: "Quale fu l'inizio? e come ebbe inizio ogni cosa? E prima che c'era?" Har risponde: "Come è detto nella *Völuspá*:
'Vi fu un tempo remoto
in cui nulla era:
non sabbia né mare
né gelide onde.
Non c'era la terra
né la volta del cielo;
ma voragine immane
e non c'era erba'".

Maya e *Popol Vuh*

Il Popol Vuh *è una delle rare testimonianze superstiti della letteratura maya. Scritto verso la metà del Cinquecento in dialetto quiché ma in caratteri latini, fu scoperto e tradotto in spagnolo nel Settecento, e poi pubblicato (in traduzione francese) solo nel 1861. Seppur redatto dopo la conquista spagnola dell'America centrale, questo poema cosmologico denota influenze molto antiche. La traduzione del passo che segue è tratta da P. Kolosimo {in* Non è terrestre, *SugarCo, Milano, 1968}.*

"Terra!" dissero.

Questa è la testimonianza.

L'universo era quieto. Nessun alito. Nessun suono. Immobile e tacito, il mondo. E lo spazio del cielo era vuoto.

Questa è la prima testimonianza, la prima parola. Non c'era ancora alcun uomo, alcun animale. Non c'erano uccelli né pesci né crostacei, né alberi né pietre, né caverne né abissi. Non erba, non foresta. C'era solo il cielo.

L'aspetto della Terra non era ancora rivelato. C'erano soltanto il dolce mare e il vasto spazio del cielo.

Nulla era ancora unito. Nulla mandava un suono, nulla muoveva, nulla scuoteva, nulla rompeva il silenzio del cielo. Non c'era ancor nulla di eretto. Solo l'acqua in riposo, il mare dolce, deserto e silenzioso. Null'altro.

Immobile e silenziosa era la notte, l'oscurità. [...]

"Si riempia il vuoto!" [ordinarono le divinità]. "Ritiratevi, acque, e date spazio, sì che la terra emerga e si consolidi!"

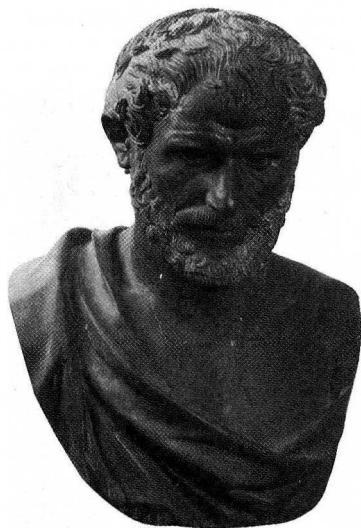
Così parlarono.

"Sia la luce! S'illuminino il cielo e la Terra! Non vi sarà gloria né grandezza finché l'uomo non comparirà, finché l'uomo non sarà creato."

Così parlarono.

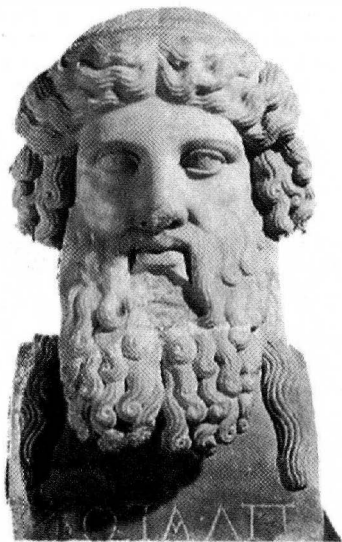
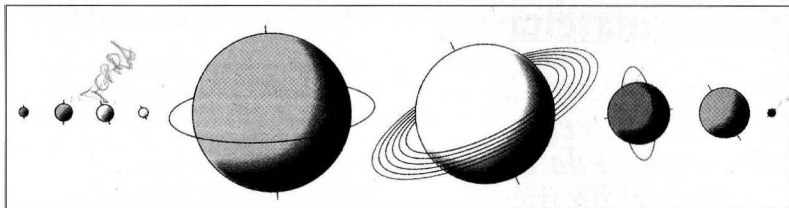
Coperchio del sarcofago della tomba di re Pacal nel "Tempio delle Iscrizioni" di Palenque.

Così dev'essere!

La vocazione aprioristica del pensiero greco si rivela con chiarezza nella visione cosmologica di Platone e di Aristotele. Il ruolo dell'osservazione è marginale: tutto consegue all'attributo della perfezione conferito dalla divinità all'universo.

Platone e l'armonia del cosmo

Nel Timeo, *Platone vede nell'armonia del numero il fondamento dell'armonia del cosmo. La traduzione del brano è quella delle* Opere complete *(vol. VI, Laterza, Roma-Bari, 1991).*

Quello che è nato deve essere corporeo e visibile e tangibile. Ma niente potrebbe essere visibile, separato dal fuoco, né tangibile senza solidità, né solido senza terra. Sicché dio, cominciando a comporre il corpo dell'universo, lo fece di fuoco e di terra. Ma non è possibile che due cose sole si compongano bene senza una terza: bisogna che in mezzo vi sia un legame che le congiunga entrambe. E il più bello dei legami è quello che

Busto di Aristotele, III secolo a.C.

Erma di Platone.

faccia, per quanto è possibile, una cosa sola di sé e delle cose legate: ora la proporzione compie questo in modo bellissimo. Perché quando di tre numeri, o masse, o potenze quali si vogliano, il medio sta all'ultimo come il primo al medio, e d'altra parte ancora il medio sta al primo come l'ultimo al medio, allora il medio, divenendo primo e ultimo, e l'ultimo e il primo divenendo a loro volta medi ambedue, così di necessità accadrà che tutti siano gli stessi, e divenuti gli stessi tra loro, saranno tutti una cosa sola. Se dunque il corpo dell'universo doveva essere piano e senz'alcuna profondità, un solo medio bastava a collegare sé e le cose con sé congiunte: ma ora, poiché conveniva che il corpo dell'universo fosse solido (e i solidi non li congiunse mai un medio solo, ma due per volta), perché dio mise acqua e aria tra fuoco e terra, e proporzionati questi elementi tra loro, per quant'era possibile, nella medesima ragione, di modo che, come stava il fuoco all'aria, stesse anche l'aria all'acqua, e come l'aria all'acqua l'acqua alla terra, collegò e compose il cielo visibile e tangibile. E in questo modo e di così fatti elementi, quattro di numero, fu generato il corpo del mondo, concorde per proporzione, e però ebbe tale amicizia che riunito con sé nello stesso luogo non può essere disciolto da nessun altro, se non da quello che l'ha legato.

Platone

Aristotele e i corpi celesti

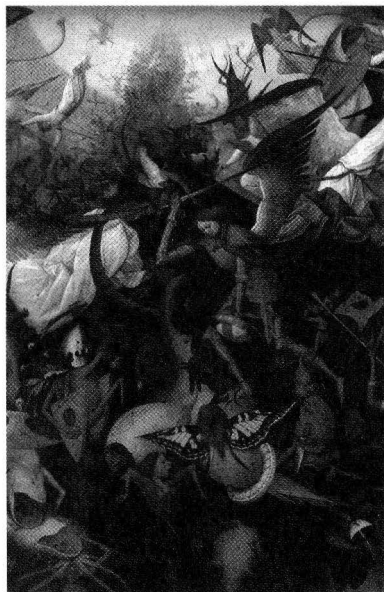
Così, nel De Coelo, *Aristotele enuncia e giustifica il principio della sfericità dei corpi celesti. La traduzione è quella delle* Opere *(vol. II, Laterza, Roma-Bari, 1973).*

Quanto alla forma di ciascun astro, essa va concepita, nel modo più conforme a ragione, come sferica. Poiché infatti è stato dimostrato che essi non sono dalla loro natura portati a muoversi da se stessi, e la natura non fa nulla senza ragione o invano, è evidente anche che essa ha prestato ai corpi privi di movimento quella figura che meno di ogni altra è mobile. Ma la figura meno mobile è la sfera, giacché essa non possiede alcun organo atto al movimento. Per modo che è evidente che gli astri avranno mole sferica.

Si aggiunga che ciò che vale per uno vale egualmente per tutti: ma che la Luna sia sferica ci è dimostrato dai fenomeni che percepiamo con la vista. Non assumerebbe infatti, al crescere e al calare, forma per lo più lunata o convessa dai due lati, e una sola volta a forma di mezzaluna. E lo stesso si ricava dai fatti astronomici, in quanto le eclissi solari non avrebbero altrimenti forma lunata. Cosicché, se uno degli astri ha questa forma, è chiaro che anche gli altri saranno sferici.

Aristotele

Fine e rinascita

Se pure avverrà, la fine dell'universo sarà seguita da una – o magari da infinite – palingenesi? Alcuni cosmologi ritengono di sì. E non sono affatto i primi ad avanzare un'ipotesi del genere...

La caduta degli angeli ribelli, dipinto di Brueghel, particolare.

Croce e il contrarsi dell'universo

L'olocausto cosmico è qui descritto da Vincenzo Croce in Luci e ombre sull'universo *(Paravia, Torino, 1981).*

Se in un futuro, per ora imprecisabile, i dati osservativi conducessero effettivamente a un'inversione di quella situazione cosmologica che, sotto tanti punti di vista, è apparsa finora la più probabile, allora il nostro universo sarebbe fatalmente destinato a richiudersi. S. Weinberg ha tracciato uno schema descrittivo di alta drammaticità nei confronti di quello che si verificherebbe nel remoto futuro. Tra 30 miliardi di anni l'universo avrebbe raggiunto la massima espansione e avrebbe raddoppiato il raggio attuale portandolo a 40 miliardi di anni luce. A quell'epoca la temperatura della radiazione cosmologica sarebbe discesa da 2,8 °K a 1,5 °K e la posizione del picco di intensità sarebbe passata da 3 a 6 mm. In quel momento gli osservatori sulle galassie noterebbero che i *red-shift* cosmologici sono divenuti insensibili. Con lo scorrere dei miliardi di anni comincerebbero viceversa a manifestare un *blue-shift*, uno spostamento verso l'estremità violetta del proprio spettro elettromagnetico, e la loro luminosità apparente decrescerebbe meno del quadrato della distanza. Il fenomeno indicherebbe che l'universo ha preso a contrarsi e che le velocità di recessione si sono scambiate in velocità di avvicinamento. Trenta miliardi di anni ancora, e l'universo ripasserebbe nello stato in cui lo vediamo attualmente; solo

che tutte le manifestazioni di tipo cosmologico apparirebbero invertite. A un'epoca situata a 110 miliardi di anni dal nostro tempo, le dimensioni dell'universo saranno divenute cento volte più piccole di quelle odierne: la temperatura della radiazione cosmologica raggiungerà i 300 °K (30 °C), e sulla Terra, ammesso che ci sia ancora, farà così caldo di giorno come di notte e le disomogeneità climatiche e stagionali non saranno più avvertibili. Allorché mancheranno soltanto 700.000 anni al collasso finale, la temperatura cosmica sarà cresciuta fino a 3000 °C, pressappoco al livello termico di alcune stelle rosse; in quel momento le molecole prenderanno a dissociarsi e le stelle e i pianeti si mostreranno avvolti in una impressionante luminosità sanguigna. Solo 20 milioni di anni impiegherà, a quel punto, un raggio di luce a compiere il giro dell'universo; ma il periplo diventerà rapidamente sempre più corto. Da questo momento lo scenario che apparirebbe a un osservatore ideale è la replica all'inverso di quanto descrivemmo nell'inseguire un fotone cosmologico lungo il suo viaggio nel tempo. Tre settimane prima del collasso finale del Grande Schianto (il *Big Crunch*), le stelle e i pianeti si dissolveranno in plasma nucleare ribollente a 10 milioni di gradi; infine, a tre minuti dalla fine, si dissoceranno i nuclei atomici; e a un decimo di secondo tutta la materia e la radiazione fonderanno in un furibondo bagno di fuoco. A 10 miliardi di gradi, a 1000 miliardi di gradi, si consumerà infine il grande olocausto cosmico.

Vincenzo Croce

Platone e la palingenesi

Di modernità davvero incredibile è la spiegazione "scientifica" che, nel Politico, *Platone fornisce del mito greco che voleva gli uomini nati dal grembo della Terra. La palingenesi (in greco "rinascita") è descritta come un vero e proprio viaggio a ritroso nello spazio-tempo. La traduzione, con qualche lieve modifica, è quella della* Grande antologia filosofica *(vol. II, Marzorati, Milano, 1961).*

Ospite: E quell'altra storia, che una volta si nasceva dalla terra e non l'uno dall'altro?

Socrate il Giovane: Anche questa è tra le storie del passato.

Ospite: Ebbene, tutto ciò fu conseguenza di un unico evento; e ve ne sono molte altre, assai più meravigliose di queste, che nel lungo corso del tempo, parte se ne è perduta la memoria, parte andarono disperse in racconti isolati. Ma l'evento che fu causa di tutte nessuno l'ha detto, e bisognerà dirlo ora. [...]

Socrate il Giovane: Racconta, dunque, e non tralasciare nulla.

Ospite: Ascolta. Il tutto che tu vedi, in certi periodi è il dio stesso che lo guida nei suoi moti e lo fa girare nel suo cerchio, ma in altri lo abbandona, quando cioè i cicli del tempo a esso assegnati hanno raggiunto la loro misura. Allora esso riprende da solo il giro in senso contrario, avendo avuto in dono la vita e l'intelligenza da colui che lo ordinò in origine. E questo girare all'indietro gli è connaturato per la ragione che ora ti dico.

Socrate il Giovane: E qual è?

Ospite: Il mantenersi sempre nello stesso modo e l'essere sempre il medesimo è qualità propria degli enti

per eccellenza divini; ma i corpi, secondo la loro natura, non rientrano in quest'ordine. Quel che noi chiamiamo cielo e cosmo, da colui che lo generò, ebbe molti attributi propri degli esseri beati; ma, questo è il punto, partecipa della natura dei corpi. Di qui deriva che ad esso è impossibile conservarsi del tutto esente dal mutamento, per quanto, nei limiti delle sue capacità, esso si muova quanto più può nello stesso luogo, nello stesso modo e con un solo moto. Perciò gli fu assegnata questa rotazione a rovescio, che è quella che lo allontana di meno dal suo moto originario. Ma essere eternamente causa a se stesso del proprio moto di rotazione, a nessuno, si può dire, è possibile, tranne a colui che guida tutte le cose che son mosse, e a costui non è lecito girare ora in un senso, ora nel senso contrario. Perciò non bisogna dire né che il mondo è sempre causa della propria rotazione, né che sia mosso sempre da un dio in due rotazioni alterne e contrarie, né che il suo moto sia guidato da due divinità animate da intenti contrari. Si dovrà dire invece che ora esso è guidato da una causa esterna e divina e, riprendendo la vita, riceve dal suo costruttore un'immortalità che è dovuta alla sua arte; ora, invece, quando è lasciato a se stesso, si muove da solo, abbandonato in tal punto del tempo da continuare nel suo moto retrogrado per molte migliaia di cicli, perché, essendo sterminato e dotato del massimo equilibrio, gira su un piede piccolissimo.

Socrate il Giovane: Quel che dici è assai verosimile.

Ospite: E ora ragioniamo e, in base a ciò che abbiamo detto, cerchiamo di raffigurarci e di capire il fatto in cui, come dicevamo, risiede la causa di tutte queste meraviglie. Perché è proprio in ciò che esso consiste.

Socrate il Giovane: In che cosa, dunque?

Ospite: Nel fatto che il moto dell'universo va ora nel senso in cui gira attualmente, ora nel senso contrario.

Socrate il Giovane: Come sarebbe a dire?

Ospite: Che, fra tutti i moti tipici del cielo, questo è evidentemente il più grande e radicale.

Socrate il Giovane: A quanto pare è così.

Ospite: Dobbiamo quindi ritenere che, per noi che vi abitiamo dentro, debbano accadere enormi rivolgimenti. [...] Viene quindi di necessità che, in un tale momento, fra tutti gli esseri viventi si producano immense distruzioni e che solo pochi uomini riescano a sopravvivere; e ad essi accadono allora molte cose meravigliose e nuove. Ma la più grande di tutte [...] è questa.

Socrate il Giovane: Quale?

Ospite: La prima fu che l'età in cui ciascuno si trovava si arrestò, e tutto quel che c'era di mortale cessò di apparire ogni giorno più vecchio col passar del tempo, ma, passando a ritroso nel moto contrario, cresceva in giovinezza e in freschezza. E allora i capelli dei vecchi da bianchi ridiventavano scuri, le guance dei giovani alla prima barba, ritornando glabre, li riportavano ciascuno alla loro prima fioritura. Quelli, poi, che stavano per uscire dalla fanciullezza – i loro corpi ridivenendo lisci e facendosi ogni giorno e ogni notte più piccoli – ritornavano infanti e ne riassumevano la forma fisica e spirituale, finché, progressivamente involvendosi, non sparivano

Giacomo Leopardi.

addirittura alla vista. Quanti poi allora morivano di morte violenta, i loro cadaveri subivano con estrema rapidità le stesse trasformazioni e in pochi giorni si dissolvevano, sì che non ne appariva più nulla.

Socrate il Giovane: E come facevano allora a nascere gli animali e in che modo si generavano gli uni dagli altri?

Ospite: Il generarsi gli uni dagli altri, o Socrate, non esisteva nella natura di allora, è chiaro: ma la stirpe di cui si racconta che una volta nacque dalla Terra, fu appunto quella degli uomini di quel tempo, che per nascere tornavano su dalla Terra; e il ricordo ne era ancora vivo nei nostri antenati, che, nell'età che seguì, si trovarono a confinare con il ciclo che allora finiva e nacquero agli inizi di questo che oggi viviamo. E furono loro, per noi, gli araldi della tradizione [...].

Platone

Leopardi e la vicenda cosmica

Nell'operetta morale dal titolo Frammento apocrifo di Stratone da Lampsaco, *l'alterna vicenda dell'universo è vista da Giacomo Leopardi nei termini del materialismo ateo e meccanicistico proprio del filone più radicale dell'Illuminismo (Diderot, d'Holbach, Helvétius...). Da notare la curiosa teoria sulla fine della Terra, da cui si desume che gli anelli di Saturno non sarebbero nient'altro che un "cadavere planetario".*

Della origine del mondo. Le cose materiali, siccome elle periscono tutte ed hanno fine, così tutte ebbero incominciamento. Ma la materia stessa niuno incominciamento ebbe, cioè a dire che ella è per sua propria forza *ab eterno*. Imperocché se dal vedere che le cose materiali crescono e diminuiscono e all'ultimo si dissolvono, conchiudesi che elle non sono per sé né *ab eterno*, ma incominciate e prodotte, per lo contrario quello che mai non cresce né scema e mai non perisce, si dovrà giudicare che mai non cominciasse e che non provenga da causa alcuna. E certamente in niun modo si potrebbe provare che delle due argomentazioni, se questa fosse falsa, quella fosse pur vera. Ma poiché noi siamo certi quella esser vera, il medesimo abbiamo a concedere anco dell'altra. Ora noi veggiamo che la materia non si accresce mai di una eziandio menoma quantità, niuna anco menoma parte della materia si perde, in guisa che essa materia non è sottoposta a perire. Per tanto i diversi modi di essere della materia, i quali si veggono in quelle che noi chiamiamo creature materiali, sono caduchi e passeggeri;

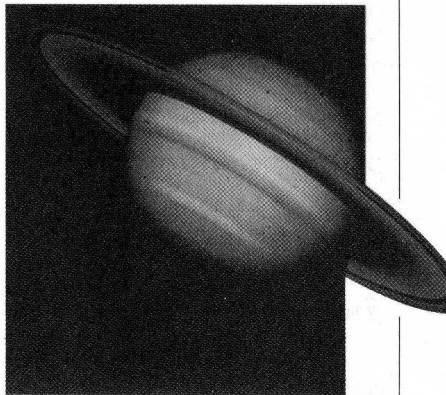
ma niun segno di caducità né di mortalità si scuopre nella materia universalmente, e però niun segno che ella sia cominciata, né che ad essere le bisognasse o pur le bisogni alcuna causa o forza fuori di sé. Il mondo, cioè l'essere della materia in un cotal modo, è cosa incominciata e caduca. Ora diremo della origine del mondo. [...]

Della fine del mondo. Questo mondo presente, del quale gli uomini sono parte, cioè a dir l'una delle specie delle quali esso è composto, quanto tempo sia durato fin qui, non si può facilmente dire, come né anche si può conoscere quanto tempo esso sia per durare da questo innanzi. Gli ordini che lo reggono paiono immutabili, e tali sono creduti, perciocché essi non si mutano se non che a poco a poco e con lunghezza incomprensibile di tempo, per modo che le mutazioni loro non cadono appena sotto il conoscimento, non che sotto i sensi dell'uomo. La quale lunghezza di tempo, quanto che ella si sia, è ciò non ostante menoma per rispetto alla durazione eterna della materia. Vedesi in questo presente mondo un continuo perire degl'individui ed un continuo trasformarsi delle cose da una in altra; ma perciocché la distruzione è compensata continuamente dalla produzione, e i generi si conservano, stimasi che esso mondo non abbia né sia per avere in sé alcuna causa per la quale debba né possa perire, e che non dimostri alcun segno di caducità. Nondimeno si può pur conoscere il contrario, e ciò da più d'uno indizio, ma tra gli altri da questo.

Sappiamo che la Terra, a cagione del suo perpetuo rivolgersi intorno al proprio asse, fuggendo dal centro le parti dintorno all'equatore, e però spingendosi verso il centro quelle dintorno ai poli, è cangiata di figura e continuamente cangiasi, divenendo intorno all'equatore ogni dì più ricolma, e per lo contrario intorno ai poli sempre più deprimendosi. Or dunque da ciò debbe avvenire che, in capo di certo tempo, la quantità del quale, avvengaché sia misurabile in sé, non può essere conosciuta dagli uomini, la Terra si appiani di qua e di là dall'equatore per modo, che perduta al tutto la figura globosa, si riduca in forma di una tavola sottile ritonda. Questa ruota, aggirandosi pur di continuo dattorno al suo centro, attenuata tuttavia più e dilatata, a lungo andare, fuggendo dal centro tutte le sue parti, riuscirà traforata nel mezzo. Il qual foro, ampliandosi a cerchio di giorno in giorno, la Terra ridotta per cotal modo a figura di un anello, ultimamente andrà in pezzi; i quali usciti della presente orbita della Terra, e perduto il movimento circolare, precipiteranno nel Sole o forse in qualche pianeta.

Potrebbesi per avventura in confermazione di questo discorso addurre un esempio, io voglio dire dell'anello di Saturno, della natura del quale non si accordano tra loro i fisici. E quantunque nuova e inaudita, forse non sarebbe perciò inverisimile congettura il presumere che il detto anello fosse da principio uno dei pianeti minori destinati alla sequela di Saturno; indi appianato e poscia traforato nel mezzo per cagioni conformi a quelle che abbiamo dette della Terra, ma più presto assai, per essere di materia forse più rara e più molle, cadesse dalla sua orbita nel pianeta di Saturno, dal quale con la virtù attrattiva della sua massa e del suo centro, sia ritenuto, siccome lo veggiamo essere veramente, dintorno

a esso centro. E si potrebbe credere che questo anello continuando ancora a rivolgersi, come pur fa, intorno al suo mezzo, che è medesimamente quello del globo di Saturno, sempre più si assottigli e dilati, e sempre si accresca quello intervallo che è tra esso e il predetto globo, quantunque ciò accada troppo più lentamente di quello che si richiederebbe a voler che tali mutazioni fossero potute notare e conoscere dagli uomini, massime così distanti. Queste cose, o seriamente o da scherzo, sieno dette circa all'anello di Saturno.

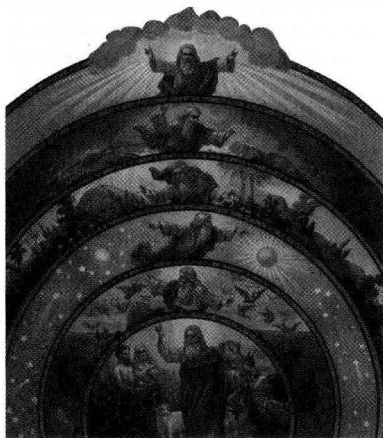
Ora, quel cangiamento che noi sappiamo essere intervenuto e intervenire ogni giorno alla figura della Terra, non è dubbio alcuno che per le medesime cause non intervenga somigliantemente a quella di ciascun pianeta, comeché negli altri pianeti esso non ci sia così manifesto agli occhi come egli ci è pure in quello di Giove. Né solo a quelli che a similitudine della Terra si aggirano intorno al Sole, ma il medesimo senza alcun fallo interviene ancora a quei pianeti che ogni ragion vuole che si credano essere intorno a ciascuna stella. Per tanto in quel modo che si è divisato della Terra, tutti i pianeti in capo di un certo tempo, ridotti per sé medesimi in pezzi, hanno a precipitare gli uni nel Sole, gli altri nelle stelle loro. Nelle quali fiamme manifesto è che non pure alquanti o molti individui, ma universalmente quei generi e quelle specie che ora si contengono nella Terra e nei pianeti, saranno distrutte insino, per dir così, dalla stirpe. E questo per avventura, o alcuna cosa a ciò somigliante, ebbero nell'animo quei filosofi, così greci come barbari, i quali affermarono dovere alla fine di questo presente mondo perire di fuoco. Ma perciocché

Saturno.

noi veggiamo che anche il Sole si ruota dintorno al proprio asse, e quindi il medesimo si dee credere delle stelle, segue che l'uno e le altre in corso di tempo debbano non meno che i pianeti venire in dissoluzione, e le loro fiamme disperdersi nello spazio. In tal guisa, adunque, il moto circolare delle sfere mondane, il quale è principalissima parte dei presenti ordini naturali, e quasi principio e fonte della conservazione di questo universo, sarà causa altresì della distruzione di esso universo e dei detti ordini.

Venuti meno i pianeti, la Terra, il Sole e le stelle, ma non la materia loro, si formeranno da questa nuove creature, distinte in nuovi generi e nuove specie, e nasceranno per le forze eterne della materia nuovi ordini delle cose e un nuovo mondo. Ma le qualità di questo e di quelli, siccome eziandio degli innumerabili che già furono e degli altri infiniti che poi saranno, non possiamo noi né pur solamente congetturare.

Giacomo Leopardi

Asimov: Bibbia e scienza a confronto

Nel suo saggio In principio *(Mondadori) Isaac Asimov, notissimo scrittore di fantascienza e divulgatore scientifico, si è divertito a esaminare il racconto della creazione offerto dalla* Genesi *attraverso la lente delle conoscenze contemporanee.*

"In principio Dio creò il cielo e la Terra"

In principio... Fin dalla prima frase la Bibbia dichiara che le cose hanno avuto un principio. Perché no? Sembra naturale. Gli oggetti a noi noti hanno avuto un principio, hanno cominciato a esistere in un dato momento. Voi e io siamo nati, e prima non esistevamo, almeno non nella nostra forma attuale. [...] Anche la scienza ritiene che ci sia stato un principio, non solo della Terra, ma dell'universo intero. Se dunque la Bibbia e la scienza affermano entrambe che il cielo e la Terra hanno avuto un principio, vuol dire che su questo punto esse concordano.

Naturalmente sì; ma si tratta di un accordo molto superficiale. Sul modo di concepire questo principio, tra la Bibbia e la scienza c'è una differenza enorme, che sarà bene chiarire, perché illumina tutte le successive concordanze tra visione biblica e visione scientifica, e anche tutte le successive discordanze.

Le affermazioni bibliche riposano sull'autorità. Se le accettiamo come rivelazioni divine, qualsiasi discussione ha termine. [...] Lo scienziato, d'altro canto, ha l'obbligo di non accettare nessuna affermazione che non poggi su prove valide. Anche se una prova resta certa, di una certezza evidente per se stessa, tanto meglio se questa certezza è confermata da prove di questo genere.

Prove valide sono quelle costituite da dati osservabili e misurabili in modo tale da ridurre al minimo l'opinione soggettiva. [...]

La creazione del mondo, litografia colorata, fine del XIX secolo, particolare.

Queste prove sono "prove scientifiche", e idealmente una prova scientifica è "inoppugnabile". Ossia: chi compie queste osservazioni e misurazioni e studia le deduzioni che se ne traggono non può rifiutarsi di concordare con le conclusioni, anche se all'inizio nutriva forti dubbi in proposito. [...]

Di conseguenza, l'affermazione biblica che la Terra e il cielo hanno avuto un principio è autorevole e assoluta, ma non inoppugnabile; mentre la stessa affermazione fatta dalla scienza è inoppugnabile, ma non autorevole né assoluta. Esiste qui un disaccordo più profondo e più importante dell'accordo superficiale delle parole. E anche l'accordo superficiale si dilegua non appena facciamo un'altra domanda: "C'è stato, ammettiamo, un principio, un momento iniziale: ma *quando*, esattamente?".

[...] Le stime correnti sull'età del cielo e della Terra in base ai dati biblici vanno dunque da 5700 a 7500 anni circa. Su questo punto il divario con le conclusioni della scienza è enorme. I dati scientifici dicono che la Terra, e in generale il sistema solare, ebbero origine, più o meno nella forma attuale, circa 4,6 miliardi di anni fa. L'intero universo sarebbe nato circa 15 miliardi di anni or sono. L'età della Terra secondo la scienza è, dunque, circa 600.000 volte maggiore di quella indicata dalla Bibbia, e l'universo è almeno 2 milioni di volte più vecchio. Alla luce di questo divario, la semplice concordanza tra la Bibbia e la scienza sul fatto che un inizio c'è stato perde quasi ogni valore.

Dio... Dio è introdotto subito quale forza creatrice dell'universo. La sua esistenza è nella Bibbia un fatto scontato, e invero si potrebbe sostenere che l'esistenza di Dio è evidente per se stessa.

Riflettiamo un momento: tutti gli esseri viventi nascono per opera di altri esseri esistenti prima di loro. Se ci fu davvero un inizio, punto su cui la Bibbia e la scienza concordano, come nacquero dunque i primi esseri viventi?

"Un orologio implica un orologiaio", si argomenta di solito; o qualcosa del genere. È inconcepibile che un oggetto complicato come un orologio nasca spontaneamente: bisogna che qualcuno lo fabbrichi. Un oggetto infinitamente più complesso come l'universo ha molte più motivazioni per far pensare di essere stato fabbricato.

Nei tempi antichi il procedimento analogico era molto più ingenuo. Gli esseri umani possono produrre, soffiando, un minuscolo venticello che esce dalle narici e dalla bocca; il vento della natura dev'essere, per analogia, generato da un essere potentissimo, che soffia anch'egli dalle narici e dalla bocca. Se in terra per viaggiare si usa un carro trainato da un cavallo, un cocchio splendente sarà il mezzo con cui il Sole viaggia attraverso il cielo.

I miti attribuiscono generalmente ogni fenomeno naturale a una creatura di sembianze umane, che agisce in modo analogo a noi, sicché *nulla*, in natura, avviene spontaneamente. Questa miriade di divinità specializzate erano spesso rappresentate in contrasto l'una con l'altra, e tali da produrre un universo in preda al disordine.

Con l'approfondimento del pensiero, si finì per supporre un unico essere divino responsabile di tutto, un essere che governa

l'umanità, la Terra e l'universo intero come un insieme armonico, e lo guida verso un fine determinato.

[...] Negli ultimi quattro secoli, tuttavia, gli scienziati hanno costruito un'immagine alternativa dell'universo. Il Sole non si muove attraverso il cielo: il suo moto apparente è dovuto alla rotazione terrestre. Il vento non ha bisogno di polmoni giganteschi: è dovuto all'azione spontanea dell'aria sottoposta a diverso riscaldamento dal Sole. [...] I fenomeni della Terra e dell'universo si sono configurati a poco a poco come comportamenti casuali, spontanei, involontari e vincolati dalle "leggi naturali". Gli scienziati sono diventati sempre più restii ad ammettere che nell'azione delle leggi naturali possano esserci interferenze (qualcosa a cui spetterebbe il nome di "miracolo").

[...] Agli occhi della scienza, insomma, l'universo segue ciecamente le proprie regole, senza interferenze né direttive. Ciò non esclude tuttavia la possibilità che un Dio abbia creato l'universo e stabilito fin da principio le leggi naturali che ne governano il comportamento. L'universo, cioè, potrebbe essere visto come un giocattolo a molla, che Dio ha caricato una volta per tutte e che adesso si scarica e si srotola in tutta la sua complessità senza bisogno che nessuno lo tocchi. In tal caso la partecipazione attiva di Dio sarebbe ridotta al minimo, e verrebbe da chiedersi se di lui ci sia bisogno. Finora gli scienziati non hanno apportato alcuna prova della necessità di un essere divino per il funzionamento dell'universo. D'altro canto non hanno nemmeno apportato la prova che un essere divino *non* esiste.

Se gli scienziati non hanno dimostrato né che Dio esiste né che Dio non esiste, siamo dunque autorizzati, da un punto di vista scientifico, a credere all'una e all'altra alternativa?

Non proprio. Non è ragionevole pretendere la prova di una negazione, e in mancanza di questa prova accettare l'affermazione contraria. Dopotutto, se la scienza non è riuscita a dimostrare che Dio non esiste, non è nemmeno riuscita a dimostrare che non esiste Zeus, o Marduk, o Toth, o una qualsiasi delle miriadi di possibilità postulate da ogni sorta di creatori di miti. Se la mancanza di una prova della non esistenza è presa come prova di esistenza, allora dobbiamo concludere che *tutte* queste divinità esistono.

Con ciò restiamo tuttavia alle prese con la suprema, tormentosa domanda: "Ma da dove è venuto tutto questo? E, in primo luogo, com'è nato l'universo?".

Se proviamo a rispondere: "L'universo è sempre esistito, è eterno", ci troviamo di fronte allo scomodo concetto dell'eternità, e all'irresistibile assunto che tutto deve aver avuto un principio.

Per uscire da questo logorante dilemma siamo tentati di risolverlo dicendo: "L'universo l'ha fatto Dio!". Questo, almeno, è un punto di partenza. Ma ci accorgiamo subito di essere sfuggiti all'eternità solo ponendola a postulato, perché ci è vietato anche solo di formulare la domanda "Chi ha fatto Dio?", di per sé blasfema. Dio è eterno per definizione.

Se siamo destinati comunque a inciampare nell'eternità, a una scienza nutrita di osservazioni e misurazioni converrà scegliere un

qualcosa di eterno che può almeno essere osservato e misurato: l'universo stesso, anziché Dio.

La nozione di un universo eterno introduce moltissime difficoltà, alcune delle quali apparentemente insuperabili (almeno allo stato attuale delle conoscenze scientifiche). [...]

Qui, dunque, sta forse il disaccordo più profondo tra la Bibbia e la scienza. La Bibbia descrive un universo creato da Dio, tenuto in piedi da lui, e da lui intimamente e costantemente diretto; mentre la scienza descrive un universo in cui non è affatto necessario postulare l'esistenza di Dio. [...]

"... *creò...*" Il primo atto divino di cui la Bibbia dia notizia è la creazione dell'universo. Ma poiché Dio è eterno, deve esserci stato un periodo di tempo infinitamente lungo prima di questo atto creativo. Che cosa faceva Dio durante questo tempo infinitamente lungo?

"Creava l'inferno per quelli che fanno domande del genere", sembra esclamasse sant'Agostino quando gli fu posta questa domanda.

Ignorando (se osiamo) sant'Agostino, possiamo azzardare qualche congettura. Dio, per esempio, potrebbe aver occupato il suo tempo creando una innumerevole gerarchia angelica. E potrebbe anche aver creato un numero infinito di universi, uno dopo l'altro, ciascuno con finalità proprie; il nostro sarebbe soltanto l'esemplare attuale della serie, a cui seguiranno infiniti altri. Oppure Dio potrebbe non aver fatto altro, fino al momento della creazione, che meditare sul suo infinito se stesso.

Tutte le possibili risposte alla domanda in questione sono tuttavia semplici supposizioni; nessuna è sorretta da prove. E non solo mancano le prove scientifiche: non ci sono neppure risposte bibliche. Le risposte appartengono interamente alla sfera della leggenda. Ma se passiamo nella sfera scientifica e pensiamo a un universo eterno, dobbiamo chiederci che aspetto avesse l'universo prima di assumere la forma attuale circa 15 miliardi di anni fa. Anche qui bisogna ricorrere alle congetture. L'universo potrebbe essere esistito durante l'eternità come qualità sparsa ed estremamente rarefatta di materia e di energia, lentissimamente coagulatasi in un piccolo oggetto ultradenso, l'"uovo cosmico", poi esploso formando l'universo odierno: un universo destinato a espandersi in perpetuo, fino a ridiventare una quantità sparsa ed estremamente rarefatta di materia e di energia. Oppure c'è un alternarsi di espansione e contrazione, una serie infinita di uova cosmiche, che esplodono formando ogni volta un nuovo universo. Il nostro è solo l'esemplare attuale di una serie infinita.

La scienza, comunque, non è ancora riuscita a sapere quel che accadde prima dell'esplosione dell'uovo cosmico, esplosione che ha dato vita al nostro universo. La Bibbia e la scienza concordano nell'incapacità di dire qualcosa di certo su ciò che accadde prima di questo inizio. La differenza è questa: la Bibbia non sarà mai in grado di dircelo. È un testo definitivamente concluso, e su questo punto non dice nulla. La scienza, invece, continua a evolversi, e forse un giorno sarà in grado di rispondere a quesiti adesso insolubili. [...]

Isaac Asimov

L'universo: caso o principio creatore?

Nel cosmo esiste almeno un essere dotato di coscienza e di intelligenza: l'uomo. Alcuni affermano che la sua esistenza è frutto del caso: l'uomo, cioè, è solo una delle infinite combinazioni in cui la materia può organizzarsi. Per altri, invece, il cosmo, le leggi fisiche che lo reggono e tutti i loro effetti, vicini o remoti, trovano origine in una Causa prima.

Monod, il caso e la necessità

Ne Il caso e la necessità *(Mondadori, Milano, 1974), il francese Jacques Monod, premio Nobel per la biologia, opta per il caso e ne conclude che in sé l'universo è privo di senso.*

Gli eventi iniziali elementari che aprono la via dell'evoluzione a quei sistemi intensamente conservatori che sono gli esseri viventi sono microscopici, fortuiti e privi di qualsiasi relazione con gli effetti che possono produrre nel funzionamento teleonomico.

Ma, una volta inscritto nella struttura del DNA, l'accidente, unico e perciò essenzialmente imprevedibile, viene fedelmente e meccanicamente replicato e tradotto, cioè moltiplicato e al tempo stesso tradotto in milioni o miliardi di esemplari. Uscito dal regno del puro caso, entra in quello della necessità, delle certezze più implacabili. Perché la selezione avviene su scala macroscopica, quella dell'organismo.

Molti spiriti eletti sembrano ancor oggi indisponibili ad accettare, e perfino a comprendere, che da una semplice sorgente di rumore la

D*io crea il Sole e la Luna*, Michelangelo, particolare. Cappella Sistina.

selezione abbia potuto ricavare da sola tutte le musiche della biosfera. In effetti la selezione opera *sui* prodotti del caso, e non può alimentarsi in modo diverso; ma opera in un campo di esigenze rigorose dalle quali il caso è escluso. Proprio da tali esigenze, e non dal caso, l'evoluzione ha tratto i suoi orientamenti generalmente ascendenti, le sue conquiste successive, l'espansione ordinata di cui sembra dare l'immagine. [...]

Quando si pensa al lunghissimo cammino percorso dall'evoluzione da forse 3 miliardi di anni, alla prodigiosa varietà delle strutture che essa ha creato, alla miracolosa efficacia delle prestazioni degli esseri viventi, dal batterio all'uomo, diventa spontaneo dubitare che tutte queste manifestazioni possano essere il risultato di una gigantesca lotteria in cui vengono tirati a sorte dei numeri, tra i quali una cieca selezione designa rari vincenti.

Se riesaminiamo nei particolari le prove di cui si dispone oggi per affermare che tale concezione è la sola compatibile con i fatti (soprattutto con i meccanismi molecolari della replicazione, della mutazione e della traduzione), si ritrova la certezza, anche se non una comprensione immediata, sintetica e intuitiva, dell'evoluzione nel suo insieme. Il miracolo è "spiegato", eppure ci sembra ancora più miracoloso. [...]

L'antica alleanza è rotta; finalmente l'uomo sa di essere solo nell'immensità indifferente dell'universo da cui è emerso per caso. Il suo dovere, come il suo destino, non è scritto da nessuna parte. Sta a lui scegliere tra il regno della Luce e quello delle tenebre.

Jacques Monod

Weinberg e i primi tre minuti dell'universo

La tragica (diremmo "leopardiana") consapevolezza dell'assurdità del cosmo e dell'inanità dell'azione umana percorre le pagine dello statunitense Steven Weinberg, premio Nobel per la fisica. Il brano è tratto da un suo libro, non tradotto in italiano, intitolato I primi tre minuti dell'universo.

Una delle teorie sull'origine dell'universo è oggi tanto comunemente accettata che gli astronomi usano chiamarla "modello standard". È più o meno la teoria che va sotto il nome di Big Bang, ma integrata da una formula più precisa quanto al contenuto dell'universo. [...]

In principio ci fu un'esplosione: non un'esplosione come quelle che si possono vedere sulla Terra, che partono da un centro determinato e che si estendono inglobando un volume crescente dell'aria circostante, ma un'esplosione che si verificò contemporaneamente ovunque, riempiendo tutto lo spazio fin dall'inizio, poiché ogni particella fuggiva da tutte le altre. Qui, "tutto lo spazio" può significare sia tutto lo spazio di un universo infinito, sia tutto lo spazio di un universo finito, incurvato su se stesso come la superficie di una sfera. [...]

Un tipo di particella particolarmente abbondante all'inizio dell'universo è l'elettrone. Sono particelle cariche di elettricità negativa, quelle stesse che si spostano in gran numero nei fili metallici per formare le correnti elettriche e che costituiscono la parte esterna degli atomi e delle molecole dell'universo attuale. Un altro tipo di particella in

origine assai numeroso è il positrone, dotato di carica positiva e di una massa esattamente identica a quella dell'elettrone. Nell'universo attuale i positroni si trovano solo nei laboratori che studiano le alte energie, nel corso di certi processi radioattivi e in fenomeni astronomici violenti quali i raggi cosmici e le supernove; ma in origine il numero dei positroni era all'incirca equivalente a quello degli elettroni. Oltre agli elettroni e ai positroni c'erano, in numero paragonabile, diversi tipi di neutrini, fantomatiche particelle sprovviste di massa e di carica elettrica. Infine, l'universo era pieno di luce. Quest'ultima non deve essere considerata separatamente dalle particelle: la teoria quantistica ci dice che la luce è costituita di particelle di massa e di carica elettrica nulla, dette fotoni. [...]

Senza dubbio l'espansione dell'universo proseguirà per un certo periodo. Quanto al suo destino ulteriore, il modello standard ci enuncia solo una profezia equivoca: tutto dipende dal fatto che la densità cosmica sia superiore o inferiore a una certa densità critica. [...]

Se la densità dell'universo è inferiore alla densità critica, la sua estensione è infinita e la sua espansione proseguirà in eterno. I nostri discendenti – se pur ne resteranno in quell'epoca – vedranno le reazioni nucleari fermarsi progressivamente in tutte le stelle, lasciando vari tipi di ceneri: stelle nane nere, stelle a neutroni e forse buchi neri. [...]

Se, al contrario, la densità cosmica è superiore alla densità critica, l'universo è finito e la sua espansione potrà finire, seguita da una contrazione accelerata.[...] La contrazione è semplicemente il processo inverso dell'espansione: dopo altri 50 miliardi di anni l'universo ritroverà la sua dimensione attuale, e dopo altri 10 miliardi di anni si avvicinerà a un singolare stato di densità infinita.[...]

Possiamo andare davvero fino alla fine di questa triste storia, uno stato di temperatura e di densità infinite? Il tempo si fermerà davvero circa tre minuti dopo che la temperatura avrà raggiunto il miliardo di gradi? Non possiamo evidentemente esserne sicuri. [...]

Certi cosmologi attingono le loro speranze nelle stesse incertezze. Forse si produrrà una specie di *rebound* cosmico, inizio di una nuova era dell'universo. [...] Ma se l'espansione dell'universo si riproduce, rallenterà di nuovo fino a fermarsi e sarà seguita da un'altra fase di contrazione che finirà con un altro tracollo cosmico e poi con una nuova palingenesi, e così via di seguito per l'eternità. [...]

Certi cosmologi sono filosoficamente attrattissimi da questo modello oscillante, in particolare perché, contrariamente alla teoria dell'universo stazionario, elude elegantemente il problema della *Genesi*. [...]

Comunque stiano le cose, tutti questi problemi cosmologici possono trovare la loro soluzione; ma, qualsiasi processo si riveli poi corretto, nessuno di essi è entusiasmante. È quasi impossibile per gli esseri umani non credere che esiste una relazione particolare tra loro e l'universo, che la vita non è soltanto l'esito grottesco di una serie di accidenti radicati nei tre primi minuti di vita del cosmo, e che, in un certo modo, siamo stati concepiti *ab ovo*. Scrivo queste righe su un aereo

che sorvola lo stato del Wyoming a un'altitudine di 10.000 metri, sulla rotta San Francisco-Boston. Laggiù la Terra sembra tenera e confortevole: nuvolette fioccose qua e là, neve che assume una sfumatura rosea alla luce del tramonto, strade che solcano il paese da una città all'altra... Si fatica a credere che tutto ciò sia solo una minuscola porzione di un universo schiacciante e ostile. Ancora più difficile è credere che questo universo si sia evoluto a partire da condizioni iniziali tanto poco familiari che ce le possiamo immaginare a malapena, e che debba finire con l'estinguersi in un freddo interminabile o in un calore infernale. Più l'universo ci sembra comprensibile, più ci appare assurdo.

Ma se i frutti della nostra ricerca non ci danno alcun sollievo, possiamo per lo meno trovare qualche conforto nella ricerca in sé. Gli uomini non si accontentano delle favole di dei e di giganti e si rifiutano di confinare i loro pensieri nelle piatte istanze quotidiane: costruiscono telescopi, satelliti e acceleratori di particelle, e restano seduti per ore e ore alle loro scrivanie, a cercare il significato dei dati che hanno raccolto.

Lo sforzo di comprendere l'universo è una delle poche cose che pongano la vita umana al di sopra del livello della farsa, conferendole un po' della dignità della tragedia.

Steven Weinberg

L*a notte stellata*, incisione tedesca del XIX secolo.

Dyson e la Causa prima

Il fisico anglo-americano Freeman Dyson si erge energicamente contro le posizioni di Monod e di Weinberg. Per lui "l'universo sapeva, da qualche parte, che sarebbe venuto l'uomo". Il passo è tratto dall'inedito (in Italia) Disturbare l'universo *(1969).*

Mescolare scienza e religione è diventata un'idea tabù per gli scienziati professionisti di oggi. [...] Ascoltiamo il biologo Jacques Monod: "Ogni confusione Tra conoscenza e valori è proibita"; e il fisico Steven Weinberg afferma: "Più l'universo ci sembra comprensibile, più ci appare privo di senso". [...]

Monod e Weinberg, entrambi grandi uomini di scienza e grandi ricercatori, ciascuno nella sua specialità, non tengono conto di certe sottigliezze e ambiguità della fisica del ventesimo secolo. La loro posizione filosofica trova la propria origine nell'Ottocento e non nel Novecento. Proprio nell'Ottocento fu dichiarata tabù ogni velleità di istituire collegamenti tra la scienza e la morale. Un terribile conflitto oppose i biologi evoluzionisti, condotti da Thomas Huxley, e gli uomini di chiesa, guidati dal vescovo Wilberforce. Huxley vinse; ma, cent'anni dopo, Monod e Weinberg si battono ancora con il fantasma del vescovo Wilberforce. [...]

Se riprendiamo in esame questo conflitto, a un secolo di distanza possiamo constatare che Darwin e Huxley avevano ragione. La scoperta della struttura e della funzione del DNA ha dimostrato la natura delle variazioni genetiche su cui gioca la selezione naturale. Il fatto che la struttura del DNA resti stabile per molti milioni di anni, pur potendo variare occasionalmente, è spiegabile ricorrendo alle leggi della chimica e della fisica. Non c'è alcun motivo per cui la selezione naturale non debba trasformare in pinna l'ala di un uccello che, come il pinguino, abbia acquisito una spiccata preferenza per il pesce. Le variazioni aleatorie, selezionate dalla continua lotta per la sopravvivenza, possono adempiere la missione del Creatore. Per i biologi l'argomento della Causa prima è morto. Hanno vinto la battaglia. Ma, ahimè, riportando quest'amara vittoria sul clero hanno fondato un nuovo dogma: l'universo non ha senso. Jacques Monod enuncia questo dogma con la perentorietà che gli è consueta: "La pietra angolare del metodo scientifico è il postulato dell'oggettività della Natura, ovvero il sistematico rifiuto di considerare come presupposto di conoscenza "vera" qualsiasi interpretazione dei fenomeni fornita in termini di cause finali, cioè di "progetto".

Questa definizione del metodo scientifico [...] esclude [...] alcune tra le branche più vive della fisica contemporanea e della cosmologia.

È facile comprendere come certi biologi molecolari contemporanei siano giunti ad accettare una definizione così ristretta della conoscenza scientifica. I loro brillanti successi derivano dalla riduzione del comportamento complesso delle creature viventi al comportamento più semplice delle molecole che formano le creature. Tutto il loro campo di ricerca è fondato sulla riduzione dal più complesso al più semplice, cioè sulla riduzione dei movimenti apparentemente motivati di un organismo evoluto ai movimenti puramente meccanici

delle sue parti costitutive. Per il biologo molecolare una cellula è una macchina chimica; le proteine e gli acidi nucleici che ne controllano il comportamento sono come meccanismi a orologeria che godono di stati ben definiti e che reagiscono al loro ambiente passando da uno stato a un altro. Ogni studente di biologia impara il mestiere di ricercatore costruendo modelli con biglie e giunti di plastica. Questi modelli sono strumenti indispensabili per studiare in modo capillare la struttura e la funzione degli enzimi e degli acidi nucleici; consentono di visualizzare le molecole che ci costituiscono. Ma per un fisico fabbricare modelli del genere è una pratica ottocentesca. Ogni fisico sa perfettamente che in realtà gli atomi non sono sferette dure. Mentre i biologi molecolari preparavano le loro spettacolari scoperte giocando con questi modelli meccanici, la fisica si volgeva altrove.

Per i biologi, concepire un elemento di dimensioni inferiori equivale a studiare un comportamento più semplice e più meccanico. Una batteria è più semplice e più meccanica di una rana, una molecola di DNA è più meccanica di una batteria. Ma la fisica del Novecento ha dimostrato che, se ci si inoltra ancora sulla via della riduzione, la tendenza si inverte. In effetti, se si divide una molecola di DNA per isolarne i componenti, si trovano atomi che si comportano meno meccanicamente delle molecole. Se poi si divide un atomo si trovano un nucleo ed elettroni che si comportano ancora meno meccanicamente dell'atomo. Un'esperienza divenuta celebre – ideata da Einstein, Podolsky e Rosen nel 1935 come esperienza mentale finalizzata a illustrare le difficoltà con cui si scontrava la teoria quantistica – dimostra che non si può determinare lo stato di un elettrone in un momento dato senza tener conto dello sperimentatore. Questa esperienza è stata effettuata in molti modi con vari tipi di particelle, e i risultati dimostrano chiaramente che la descrizione dello stato di una particella ha senso solo in funzione del procedimento di osservazione adottato. I punti di vista filosofici differiscono secondo i fisici, e il ruolo dell'osservatore nella descrizione dei processi subatomici è stata diversamente interpretata. Ma tutti i fisici concordano nel ritenere che la sperimentazione non può produrre una descrizione indipendente dalla modalità di osservazione. Quando trattiamo di oggetti piccoli come gli atomi e gli elettroni, l'osservatore o lo sperimentatore non può essere escluso dalla descrizione della natura osservata. In questo campo il dogma di Monod "la pietra angolare del metodo scientifico è il postulato dell'oggettività della natura" è falso.

Negare il postulato di Monod non significa negare le scoperte della biologia molecolare. [...] Non diciamo che il caso e il riassetto meccanico delle molecole non possano trasformare la scimmia in uomo. Diciamo semplicemente che se tentiamo di osservare nei minimi particolari il comportamento di una molecola isolata, il significato delle parole "caso" e "meccanico" dipenderà dal modo in cui effettuiamo la nostra osservazione. Le leggi della fisica subatomica non possono venir formulate senza riferirsi all'osservazione. Il concetto di "caso" può essere definito solo come una

misura dell'ignoranza dell'osservatore sull'avvenire. Queste leggi riservano un ruolo allo "spirito" nella descrizione che l'uomo fa di ogni molecola.

[...] A mio parere la nostra coscienza non è soltanto un fenomeno passivo innescato dalle reazioni fisiche del nostro cervello, bensì un agente attivo che costringe i complessi molecolari a compiere una scelta tra questo o quello stato quantistico. Detto altrimenti, lo "spirito" è presente in ogni elettrone, e il funzionamento della coscienza umana differisce solo quantitativamente, e non nella natura del processo di scelta tra due stati quantici (scelta che chiamiamo "caso" quando a operarla è un elettrone).

Jacques Monod ha un profondo disprezzo per la gente come me: ci chiama "animisti", cioè gente che crede agli spiriti. L'animismo, dice, "stabiliva tra la Natura e l'uomo una profonda alleanza, al di fuori della quale non sembra estendersi che una spaventosa solitudine. Bisogna rompere questo legame, perché il postulato dell'oggettività lo impone?". Monod risponde di sì: "L'antica alleanza è rotta; finalmente l'uomo sa di essere solo nell'immensità indifferente dell'universo, donde è emerso per caso".

Io rispondo di no. Credo in questa alleanza. È vero che la nostra venuta nell'universo è dovuta al caso, ma la stessa idea di caso non fa che mascherare la nostra ignoranza. Non mi sento straniero nell'universo. Più esamino e studio nei particolari la sua architettura, più scopro le prove che esso attendeva indubbiamente la nostra venuta.

Freeman Dyson

Hawking e l'enigma del tempo

I misteri del tempo sono tutt'altro che chiariti, in particolare quello della sua direzione. Possiamo spostarci liberamente nello spazio tridimensionale (davanti, dietro, a destra, a sinistra, in basso e in alto), ma il nostro viaggio nel tempo va sempre in avanti: ci conduce inesorabilmente dalla culla alla tomba. Questa irreversibilità si ritrova nel mondo macroscopico, retto dal tempo termodinamico: un pezzo di ghiaccio fonde al sole, una cattedrale lasciata a se stessa cade in rovina e una rosa sfiorisce. Il disordine aumenta con il tempo. Una terza direzione temporale è data dall'espansione del cosmo. La direzione del tempo cosmologico è determinata dal fatto che lo spazio intergalattico si dilata, che cioè le galassie si allontanano sempre più le une dalle altre. Qual è il rapporto tra questi tre tempi? Il fisico britannico Stephen Hawking in Dal Big Bang ai buchi neri: breve storia del tempo *(Rizzoli, Milano, 1988) tenta di fornire una risposta.*

Esaminerò dapprima la freccia del tempo termodinamica. La seconda legge della termodinamica risulta dal fatto che gli stati disordinati sono sempre molti di più di quelli ordinati. Per esempio, consideriamo i pezzi di un *puzzle* in una scatola. Esiste uno, e un solo, ordinamento in cui tutti i pezzi formano una figura completa. Di contro esiste un numero grandissimo di disposizioni in cui i pezzi sono disordinati e non compongono un'immagine. [...]

Supponiamo che nello stato iniziale i pezzi siano raccolti nella scatola nella disposizione ordinata in cui

formano un'immagine. Se scuotiamo la scatola i pezzi assumeranno un'altra disposizione. Questa sarà probabilmente una disposizione disordinata in cui i pezzi non formeranno un'immagine appropriata, semplicemente perché le disposizioni disordinate sono in numero molto maggiore di quelle ordinate. Alcuni gruppi di pezzi potranno formare ancora parti della figura, ma quanto più scuotiamo la scatola tanto più aumenta la probabilità che anche questi gruppi si rompano e che i pezzi vengano a trovarsi in uno stato completamente mischiato, nel quale non formeranno più alcuna sorta di immagine. Così il disordine dei pezzi aumenterà probabilmente col tempo se i pezzi obbediscono alla condizione iniziale che si prenda l'avvio da uno stato altamente ordinato. [...]

Perché osserviamo che le frecce termodinamica e cosmologica puntano nella stessa direzione? O, in altri termini, perché il disordine aumenta nella stessa direzione del tempo in cui si espande l'universo?

[...] Le condizioni nella fase di contrazione non sarebbero idonee all'esistenza di esseri intelligenti in grado di porsi la domanda: perché il disordine cresce nella stessa direzione del tempo in cui si sta espandendo l'universo? L'inflazione nel primissimo periodo di esistenza dell'universo, predetta dalla condizione dell'inesistenza di alcun confine, significa che l'universo deve espandersi con una velocità molto vicina al valore critico in corrispondenza del quale riuscirebbe a evitare di strettissima misura il collasso, e quindi che non invertirà comunque la direzione del suo movimento per moltissimo tempo. A quell'epoca tutte le stelle avranno esaurito il loro combustibile, e i protoni e i neutroni in esse contenuti saranno probabilmente decaduti in particelle di luce e radiazione. L'universo si troverebbe allora in uno stato di disordine quasi completo. Non ci sarebbe una freccia del tempo termodinamica forte. Il disordine non potrebbe aumentare di molto perché l'universo sarebbe già in uno stato di disordine quasi completo. Una freccia del tempo termodinamica forte è però necessaria per l'operare della vita intelligente. Per sopravvivere, gli esseri umani devono consumare cibo, che è una forma ordinata di energia, e convertirlo in calore, che è una forma di energia disordinata. Perciò nella fase di contrazione dell'universo non potrebbero esistere forme di vita intelligente. Questa è la spiegazione del perché osserviamo che le frecce del tempo termodinamica e cosmologica sono puntate nella stessa direzione. [...]

Per compendiare, le leggi della scienza non distinguono tra le direzioni del tempo in avanti e all'indietro. Ci sono però almeno tre frecce del tempo che distinguono il passato dal futuro. Esse sono: la freccia termodinamica, cioè la direzione del tempo in cui aumenta il disordine; la freccia psicologica, cioè la direzione del tempo in cui ricordiamo il passato e non il futuro; la freccia cosmologica, cioè la direzione del tempo in cui l'universo si espande anziché contrarsi.

Stephen Hawking

La vita oltre il sistema solare

Il cosmo ospita miliardi di miliardi di galassie e di sistemi planetari. È possibile che la vita altrove non esista? È credibile che da nessuna parte vi siano forme di intelligenza con le quali entrare in contatto?

Il giocoliere dell'universo, incisione di Grandville.

Vita intelligente?

*Un breve e arguto excursus, anche di carattere storico, delle ipotesi di vita extraterrestre è quello di Mario Cavedon (*Astronomia*, Mondadori, Milano, 1992).*

La vita può presentarsi in tante forme diverse, alcune molto semplici, altre estremamente complesse. Alcuni microrganismi conosciuti sulla Terra potrebbero trovarsi anche su Marte. Forse, su pianeti lontani, che ruotano intorno ad altre stelle, esistono una vita vegetale molto complessa e una vita animale analoga a quella terrestre. In quanto alla vita intelligente, è possibile escluderla? La cosa meno probabile, tanto da apparire inverosimile, è che in tutto l'universo soltanto l'uomo, qui sulla Terra, sia capace di pensare, di riflettere, di ricordare, di scrivere, di creare opere artistiche o di formulare teorie scientifiche. È molto probabile che anche altrove esistano esseri pensanti, più o meno progrediti dell'uomo (dire più o meno intelligenti non mi sembra corretto, perché bisognerebbe prima concordare la definizione di intelligenza).

La domanda essenziale, una volta ammessa l'esistenza di questi esseri nell'universo, è la seguente: esiste qualche possibilità di comunicazione? La risposta è difficile. Forse, qualche possibilità potrebbe esistere, se trovassimo esseri al nostro stesso livello tecnologico su pianeti di stelle relativamente vicine al Sole. In questo caso si potrebbero scambiare messaggi via radio, tenendo conto, in ogni caso, che devono passare numerosi anni tra l'invio di una domanda e la ricezione della risposta. Se trovassimo esseri molto più

avanzati di noi dal punto di vista tecnologico, incontreremmo probabilmente molte difficoltà per ricevere e decifrare le risposte. Chi può escludere, infatti, che sulla Terra stiano arrivando da molti anni segnali che noi non siamo in grado di ricevere con i mezzi di cui disponiamo? [...]

La storia insegna poco agli uomini. Basterebbe ricordare certe idee (che oggi consideriamo sciocchezze) espresse negli ultimi due secoli per rendercene conto. Quando i telescopi sulla Terra diventarono abbastanza potenti, ci fu chi pensò che anche i marziani avessero grandi telescopi e propose di tracciare un grande triangolo rettangolo in un deserto, perché lo vedessero e capissero che sulla Terra si conosce il teorema di Pitagora. Quando vennero create le prime lampade elettriche abbastanza potenti, ci fu chi propose di allinearne un gran numero lungo i lati di un triangolo rettangolo, allo stesso scopo. Quando si diffuse il telegrafo e l'alfabeto Morse divenne di uso abbastanza comune, qualcuno credette di vedere segnali luminosi palpitare sulla superficie di Marte, proprio con un ritmo analogo a quello dei nostri segnali telegrafici. La scoperta delle onde radio ha subito scatenato la speranza di ricevere notizie da altri pianeti, perfino con i piccoli apparecchi da appartamento; poi, la radioastronomia ha dimostrato che occorrono grandi antenne e radioriceventi molto raffinate. Per un giorno, nel 1967, si pensò di aver ricevuto un messaggio dagli "omini verdi"; il giorno successivo si stabilì che i segnali venivano emessi da un pulsar.

La creazione dei calcolatori elettronici, con il loro particolare codice, e la diffusione di questi strumenti ha naturalmente portato a ritenere che tutti gli esseri intelligenti che vivono nello spazio conoscano sia il calcolatore sia il suo codice binario (non è impossibile, sia chiaro); e, poiché gli extraterrestri non si fanno vivi con noi, si è giunti alla conclusione che tutti siano in attesa di un primo segnale inviato da altri. L'uomo è impaziente, e quindi ha deciso di inviare nello spazio un messaggio in codice binario. Il 12 dicembre 1974, tutte le stazioni televisive in America e in Europa hanno trasmesso in diretta l'impresa: l'invio di un messaggio verso i pianeti che potrebbero esistere in un ammasso globulare. Si prevede che la risposta eventuale potrebbe arrivare tra 50.000 anni. Ma, per stanare gli extraterrestri dal loro isolamento e farli uscire dal loro silenzio, è stato escogitato un altro sistema: in una sonda spaziale lanciata dagli americani, nella seconda metà del 1977, verso Giove e gli altri pianeti più esterni, è stato messo un disco con musiche, rumori, versi di animali, messaggi registrati in lingue diverse, antiche e moderne, eccetera; senza dimenticare lo schiocco di un bacio, probabilmente per fare arrossire gli omini verdi, se riusciranno a capire di che cosa si tratta. Vorrei che mi dicessero che il disco è stato dimenticato sulla rampa di lancio.

Se per quanto riguarda il mezzo di comunicazione, si può pensare di ricorrere alle onde radio (o a qualche altra onda elettromagnetica), che si propagano con la velocità della luce, ma resta il problema del linguaggio da utilizzare, non risolto certamente da chi ha preparato il disco citato qui sopra. Un linguaggio universale è quello matematico, ma richiede l'uso di simboli concordati. Il linguaggio

sonoro (ammettendo che gli extraterrestri abbiano un orecchio sintonizzabile sulle nostre frequenze e non sugli ultrasuoni) non è certo di facile comprensione; chiunque si sia trovato in un paese straniero senza conoscerne la lingua sa quanto sia difficile farsi capire: talvolta persino i gesti vengono male interpretati. E non posso sperare che gli extraterrestri abbiano il mio aspetto e il mio modo di esprimere i vari sentimenti. D'altra parte, non ho neppure la capacità di mettermi in contatto con esseri che vivono accanto a me; per esempio, vedo che il mio cane manifesta sentimenti di gioia o di malinconia, di paura o di gelosia, ma non riesco a conoscere le sue sensazioni; mi limito a interpretarle, ma non ho la possibilità di stabilire un contatto più diretto. Se arrivassi su un pianeta con alberi o esseri che si muovono, mi renderei conto che esiste la vita; ma resterebbe sempre molto difficile stabilire una comunicazione.

Le possibilità di contatto diretto, poi, finiscono con l'essere inesistenti, almeno con i mezzi attuali. Un segnale radio impiega poco più di un secondo per andare dalla Terra alla Luna, ma gli astronauti o le sonde impiegano circa tre giorni per compiere lo stesso viaggio. Il rapporto tra la velocità delle sonde attuali e quella delle onde radio e della luce è quindi di circa 1:200.000. Se applico lo stesso rapporto di velocità per un viaggio verso la stella più vicina, poiché si trova a una distanza di 4,2 anni luce, troverei che per compiere il solo viaggio di andata un'astronave impiegherebbe circa 840.000 anni.

La domanda che posso farmi a questo punto è dunque: vedrò un giorno gli extraterrestri che vivono su un pianeta lontano dal nostro sistema solare? Con i mezzi di cui disponiamo attualmente, appare chiaro che non li vedrò mai. Naturalmente si può pensare che siano loro a compiere il viaggio; e alcuni esseri intelligenti, che vivono qui sulla Terra, affermano di essere in contatto con gli extraterrestri. Le notizie dell'avvistamento di dischi volanti e di esseri misteriosi che, dopo aver terrorizzato qualche persona, fuggono nello spazio in una scia di luce sono molto frequenti, soprattutto in estate. Esistono associazioni tra ricercatori e osservatori di UFO (oggetti volanti non identificati) e si è giunti a creare una nuova "scienza", l'ufologia, che interpreta le fotografie e i racconti dei fortunati che hanno avuto la visione. Le indagini compiute da organismi scientifici hanno concluso che molti UFO si potevano giustificare con fenomeni naturali (riflessioni o rifrazioni luminose, fulmini globulari, eccetera), o con l'effettiva presenza di oggetti lanciati dall'uomo (satelliti artificiali e razzi vettori, aerei non di linea, eccetera); ma gli ufologhi non credono a queste spiegazioni ufficiali e talvolta descrivono gli oggetti osservati in un modo così improbabile che, effettivamente, nessuna scienza sarebbe in grado di giustificarli. In genere, una persona scientificamente preparata che si trovi a osservare un fenomeno in apparenza strano cerca (e normalmente trova) la spiegazione: per esempio, non sono più molte le persone che, vedendo fiammelle di notte nei cimiteri, ritengono si tratti delle anime dei defunti. Quando mi è capitato di vedere una luce palpitante attraversare rapidamente il cielo, più di una volta mi sono chiesto quanti avrebbero scambiato il satellite per un UFO; e regolarmente i quotidiani del giorno successivo raccontavano che la

redazione era stata subissata dalle telefonate degli occasionali osservatori. Quando non si trova una soluzione, è molto comodo inventarsi angeli o demoni, divinità o altro; e gli extraterrestri non appartengono forse alla stessa categoria?

Personalmente, resto dell'idea che sarà molto difficile mettersi in contatto con altri esseri intelligenti che vivono al di fuori del nostro pianeta. Noi non conosciamo certo tutte le leggi della fisica e si può supporre che gli extraterrestri siano più avanzati di noi; ma le leggi che conosciamo sembrano escludere la possibilità di viaggi lunghissimi per esseri costruiti biologicamente come l'uomo; la limitazione vale non soltanto per noi, ma anche per gli esseri di altri pianeti. Probabilmente, non vedremo mai gli extraterrestri; e tuttavia nell'universo non siamo soli. Altri esseri capaci di pensare esistono sicuramente.

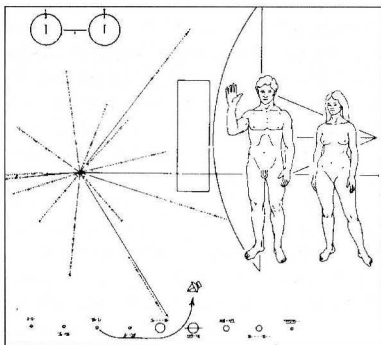
Mario Cavedon

Una connessione cosmica

Lo statunitense Carl Sagan è uno degli astronomi che più si sono adoperati per sensibilizzare il grande pubblico sui temi della vita extraterrestre e sui grandi sconvolgimenti pratici e filosofici che seguirebbero al contatto con una civiltà fiorita di là dal sistema solare. In Cosmic Connection *(1975) racconta la genesi della targhetta da lui ideata, affissa all'esterno di* Pioneer *10 e 11.*

Il primo tentativo scientifico operato dall'umanità per comunicare con eventuali civiltà extraterrestri risale al 3 marzo 1972, quando da Cape Kennedy fu lanciato *Pioneer 10*. *Pioneer 10* è stata la prima navicella spaziale destinata a esplorare i dintorni di Giove e, sul suo cammino, gli asteroidi che fluttuano tra le orbite di Marte e di Giove. La sua traiettoria non fu modificata da un asteroide errante (probabilità del 95%). Il 31 dicembre 1973 si avvicinò a Giove e, accelerato dalla gravitazione del pianeta, divenne il primo manufatto umano a lasciare il sistema solare, alla velocità di circa 11 km/s.

Pioneer 10 è il proiettile più rapido lanciato finora dall'umanità. Ma lo spazio è desolatamente vuoto e le distanze tra le stelle immense. Nei prossimi dieci miliardi di anni, *Pioneer 10* non entrerà mai nel sistema planetario di un'altra stella, anche supponendo che tutte le stelle della galassia posseggano un sistema analogo al nostro. E gli ci vorranno 80.000 anni solo per percorrere una distanza uguale a quella che ci separa dalla stella più vicina (4,3 anni-luce).

Ma *Pioneer 10* non è diretto verso la stella più vicina. Si dirige verso un punto della volta celeste situato vicino alla frontiera tra le

Targa apposta su *Pioneer 10*.

costellazioni del Toro e di Orione, ove non esistono astri vicini a noi.

Si può supporre che la navicella spaziale verrà individuata solo da una civiltà extraterrestre che pratichi i viaggi interstellari su vasta scala e che sia in grado di intercettare e di comprendere questa specie di silente relitto.

Il messaggio posto su *Pioneer 10* ricorda da vicino la bottiglia lanciata in mare dal capitano di una nave sul punto di naufragare; ma l'oceano dello spazio è incommensurabile rispetto a quelli terrestri.

Quando rivolsi l'attenzione alla possibilità di porre un messaggio in una "bottiglia" dell'era spaziale, mi misi in contatto con alcuni membri del progetto *Pioneer 10* e con lo stato maggiore della NASA, per vedere se ci fosse qualche possibilità di mettere in pratica la mia idea. Con mia grande sorpresa e piacere l'idea fu approvata a tutti i livelli della gerarchia della NASA, benché, secondo i criteri abituali, fosse davvero tardi per apportare cambiamenti anche modesti alla navicella spaziale. Nel corso di una riunione dell'American Astronomical Society (San Juan de Portorico, dicembre 1971), discussi in privato con il professor Frank Drake, mio collega alla Cornell University, sui diversi messaggi che si poteva pensare di spedire. Decidemmo il contenuto del messaggio nello spazio di poche ore. Le figure umane furono aggiunte da mia moglie, Linda Salzman Sagan. Pensiamo che questo messaggio non sia il migliore tra quanti si potevano concepire per uno scopo del genere. L'insieme del lavoro – presentazione dell'idea, disegno del messaggio, approvazione da parte della NASA e incisione della targa finale – richiese tre settimane. Nel 1973 una targa identica fu posta sulla navicella spaziale *Pioneer 11*, destinata a una missione simile.

Il messaggio è inciso su una targa di alluminio alta 15 centimetri e larga 22,5, dorata con procedimento galvanico e fissata ai montanti dell'antenna di *Pioneer 10*. Il tasso presunto di erosione nello spazio interstellare è sufficientemente basso perché il messaggio resti intatto per centinaia di milioni di anni, e probabilmente per molto più tempo. È il manufatto umano dotato di maggiore speranza di vita.

Il messaggio in sé mira a comunicare alcuni dati sull'origine spazio-temporale dei costruttori dell'ordigno spaziale e sulla loro natura. È scritto nel solo linguaggio che possiamo condividere con gli eventuali destinatari: quello della scienza. In alto a sinistra si può vedere una rappresentazione schematica dei movimenti rispettivi del protone e dell'elettrone dell'atomo di idrogeno neutro: la transizione iperfina tra *spin* paralleli e antiparalleli. Sotto questa rappresentazione è raffigurato il numero binario 1. Queste transizioni dell'idrogeno sono accompagnate dall'emissione di un fotone dotato di una lunghezza d'onda di circa 21 centimetri e di una frequenza radio di circa 1,420 Mhz. A questa transizione sono quindi associati intervalli spaziali e temporali specifici. Poiché l'atomo di idrogeno è il più comune nella galassia, e la fisica e le leggi fisiche sono ovunque le stesse, pensiamo che una civiltà avanzata non troverà alcuna difficoltà a decifrare questa parte del messaggio. Nondimeno, come riferimento, sul margine di destra abbiamo raffigurato tra due segnetti il numero binario 8 che indica l'altezza della

navicella spaziale *Pioneer 10*, rappresentata schematicamente dietro l'uomo e la donna. La civiltà che si impossessasse della piastra prenderebbe anche possesso dell'ordigno spaziale, e sarebbe quindi in grado di verificare che la distanza indicata è all'incirca 8 centimetri volte 21 centimetri, e quindi di avere la conferma che il simbolo in alto a sinistra rappresenta la transizione iperfina dell'idrogeno.

Nel disegno a raggi che occupa la maggior parte del diagramma sulla parte sinistra della targa, si possono vedere altri numeri binari. Se scritte in notazione decimale, queste cifre richiederebbero molte righe. Indicano distanze e tempi. Se si tratta di distanze sono dell'ordine di circa 10^{11} centimetri, cioè alcune decine di volte la distanza tra la Terra e la Luna. È altamente improbabile che queste cifre contribuiscano alla comunicazione. Il movimento degli oggetti all'interno del sistema solare modifica le distanze in modo complesso e continuo.

I tempi corrispondenti sono dell'ordine di 1/10 di secondo al secondo. Sono i periodi caratteristici delle pulsar, che sono le sorgenti naturali e regolari dei messaggi radiocosmici; le pulsar sono stelle a neutroni in rapida rotazione, prodotte in seguito a esplosioni stellari cataclismatiche. Crediamo che una civiltà scientificamente avanzata non farà fatica a comprendere questo *mandala* matematico come l'indicazione dei periodi di 14 pulsar e delle loro posizioni in rapporto al sistema solare, punto di lancio dell'astronave.

Le pulsar sono orologi cosmici che battono a intervalli ben noti: quindi i ricevitori del messaggio potranno non soltanto chiedersi dove fu mai possibile vedere 14 pulsar in quel modo, ma *quando*. La risposta è: solo in una minima porzione della galassia della Via Lattea, e nel corso di un solo anno della sua storia.

All'interno di questo piccolo volume della galassia ci sono forse un migliaio di stelle; si può supporre che una sola di queste stelle possieda un sistema planetario le cui distanze relative sono quelle indicate nella parte inferiore del diagramma. Sono schematicamente indicati le dimensioni rispettive dei pianeti e l'anello di Saturno.

All'osservatore è inoltre offerta una rappresentazione schematica della traiettoria della navicella spaziale lanciata dalla Terra. Così il messaggio indica una stella precisa tra circa 250 miliardi, e un anno (il 1970) su 10 miliardi.

Fin qui il tenore del messaggio dovrebbe essere chiaro per una civiltà extraterrestre avanzata, che del resto potrà esaminare l'intera navicella spaziale *Pioneer 10*. A dire il vero il messaggio sarebbe forse meno chiaro per l'uomo della strada, se la strada si trovasse sul pianeta Terra; tuttavia alcuni gruppi di scienziati terrestri non hanno avuto grandi difficoltà per decifrare il messaggio. L'inverso accade per le rappresentazioni di esseri umani sulla destra della targa. Esseri extraterrestri che fossero il prodotto di cinque miliardi di anni o più di autonoma evoluzione biologica potrebbero non assomigliare per nulla agli esseri umani, e le leggi della prospettiva e le convenzioni del disegno potrebbero essere per loro del tutto diverse. Gli esseri umani, insomma, sono la parte più misteriosa del messaggio.

Carl Sagan

Incontri ravvicinati

Il tema del contatto con gli extraterrestri è stato trattato, con minore o maggiore originalità, in un gran numero di opere di fantascienza.

Fotogramma del film *E.T.* di Spielberg.

La vicenda di Enoch

La casa dalle finestre nere, *di Clifford D. Simak (Mondadori, Milano, 1964) racconta la straordinaria vicenda di Enoch, un reduce della guerra di Secessione americana. Un giorno Enoch, che vive isolato in una casa di campagna, riceve la visita di Ulisse, un extraterrestre. Costui gli propone, in cambio dell'immortalità, di trasformare la casa in stazione interplanetaria. Enoch accetta, e davanti ai suoi occhi cominciano a sfilare i personaggi più fantastici.*

Nell'interno della stazione la macchina mandava un sibilo lamentoso. Enoch [...] premette il bottone, spinse la leva, e il sibilo cessò. Sullo schermo lesse il seguente messaggio: "Da n. 406302 a Stazione 18327. Arriverò prime ore sera vostro tempo. Tenete pronto caffè caldo. Ulisse".

Enoch sorrise. Ulisse e il suo caffè! Era l'unico dei visitatori che avesse mostrato di apprezzare cibi e bevande terrestri. Altri ne avevano assaggiati, ma poi non ne avevano voluto una seconda volta.

Ulisse era uno strano tipo. Lui e Enoch erano andati d'accordo fin dal primo momento, fin da quel pomeriggio tempestoso in cui si erano seduti sui gradini del portico e la maschera di fattezze umane era caduta dal volto del nuovo venuto. Il viso che la maschera aveva tenuto nascosto era duro, sinistro, repellente. A Enoch era parso il volto di un pagliaccio crudele e subito questo paragone gli era sembrato strano, perché i pagliacci non sono mai crudeli. Eppure... quei colori strani, la mascella dura e prominente, la bocca sottile...

Poi aveva notato gli occhi e la prima impressione era stata cancellata. Erano grandi e dolci, e in essi brillava una luce di comprensione che equivaleva a un'offerta di amicizia sincera.

La pioggia aveva improvvisamente incominciato a sferzare la terra, picchiettando sul tetto e martellando rabbiosa sulla polvere dell'aia, mentre le galline scappavano al coperto. Enoch era balzato in piedi e aveva afferrato l'altro per un braccio, per tirarlo con sé al riparo sotto il portico.

Là sotto, in piedi, uno di fronte all'altro, Ulisse aveva finito di togliersi la maschera, mettendo in luce il viso dipinto e la testa completamente calva. Il suo poteva sembrare un volto di indiano selvaggio e violento, dipinto con i colori di guerra, ma qua e là c'erano tocchi da pagliaccio, come per mettere in evidenza la grottesca inutilità della guerra. Tuttavia, guardandolo meglio, Enoch si accorse che non si trattava di trucco, ma di colorito naturale di quell'essere arrivato dalle stelle.

Per quanto sapesse ben poco di lui, Enoch fu subito certo che quell'essere non veniva dalla Terra. Non era un uomo, anche se dell'uomo aveva l'aspetto, con braccia, gambe testa e faccia. Da lui emanava un non so che di strano, che non aveva niente di umano. [...] Aveva detto di venire dalle stelle e probabilmente diceva il vero, sebbene ciò non spiegasse nulla. Nessuna fantasia, neppure la più accesa, avrebbe mai potuto inventare un personaggio simile. [...]

"Non affannatevi", disse lo sconosciuto. "So che non è facile accettare un avvenimento come questo e, d'altra parte, non posso far nulla per aiutarvi a capire. Non posso provare in alcun modo che vengo dalle stelle."

"Ma parlate così bene..."

"La vostra lingua, volete dire? Non è stato difficile; è una delle lingue fondamentali, ma non può esprimere tutti i concetti. [...] Se credete posso andarmene e tornare tra un paio di giorni: così avrete il tempo di pensarci sopra." [...]

"No", l'interruppe Enoch con una calma che stupì lui stesso. "No. Quando si deve affrontare una cosa è meglio farlo subito. L'ho imparato in guerra." [...]

Entrarono in cucina, dove Enoch attizzò il carbone e mise nuova legna sul fuoco. Riempì d'acqua la caffettiera e la mise a bollire; poi prese alcune uova dalla credenza e scese in cantina per tagliare una fetta di pancetta. Ulisse sedeva rigido, guardandolo.

"Vi piacciono le uova con la pancetta?" gli domandò Enoch.

"Mangio di tutto" rispose Ulisse. "La mia è una razza molto adattabile. Per questo sono stato inviato sul vostro pianeta come... come esploratore, direi. Voi avete sempre vissuto in questa casa" soggiunse "e immagino che le siate molto affezionato."

"Ci sono nato e ci sono sempre vissuto, all'infuori dei quattro anni di guerra."

"Anch'io sarei contento di tornare a casa mia!" dichiarò Ulisse. "Sono via da molto tempo. Una missione come quella che mi hanno affidato richiede sempre molto tempo." [...]

"Come, tornerete a casa?"

"Ma certo! [...] Un giorno ve ne parlerò. E chissà se non ci veniate anche voi..."

"Lassù, tra le stelle?" chiese Enoch.

"Ora potrà sembrarvi strano, e ci

vorrà del tempo prima che vi abituiate all'idea. Ma quando mi conoscerete, quando ci conoscerete tutti, capirete. E spero che vi andremo a genio. Non siamo cattivi, sapete? Nessuna razza è cattiva." [...]

"Ma perché?" domandò Enoch. "Perché..."

"Perché", spiegò Ulisse, "noi siamo un popolo di viaggiatori e ci occorre una stazione di transito, in questo luogo. Vogliamo trasformare questa casa in una stazione, di cui voi sarete il guardiano." [...]

"Ma dove... viaggiate?"

"Da una stella all'altra, più veloci del pensiero. Tutto questo grazie a... voi le chiamereste macchine, ma non sono affatto macchine, almeno nel senso che intendete voi."

"Scusatemi", balbettò Enoch, "ma mi sembra impossibile."

"Ricordate quando arrivò la ferrovia a Milville?"

"Sì, me lo ricordo. Ero bambino, allora."

"Allora provate a immaginare che si tratti di un'altra ferrovia e che la Terra sia una città come un'altra, collegata, per mezzo di questa casa che diventerà una stazione, alle altre città. L'unica differenza è che voi sarete l'unico uomo sulla Terra a conoscere l'esistenza di questa stazione. Sarà solo un posto di riposo e di transito e nessun terrestre potrà mai comprare un biglietto per questa ferrovia." [...]

L'uomo non solo doveva imparare molte cose, se voleva partecipare alla civiltà galattica, ma doveva anche ricredersi su molti punti. Per esempio, sull'affermazione che la velocità della luce fosse una velocità limite. Se ciò fosse stato esatto, il sistema di trasporto galattico sarebbe stato impossibile. [Invece] il sistema d'impulsi che trasportava gli esseri da una stella all'altra era istantaneo, indipendentemente dalla distanza. Solo pochi istanti prima, la creatura che ora stava riposando nel serbatoio si trovava in un'altra stazione e il materializzatore aveva creato non solo il modello del suo corpo, ma anche il modello della sua forza vitale, ossia di quell'energia che gli dava la vita. Poi questo modello fatto d'impulsi aveva attraversato gli abissi dello spazio, raggiungendo la stazione ricevente dove era servito a creare una copia del corpo, della mente, della memoria e della vita della creatura che ora giaceva morta a molti anni luce di distanza. Nel serbatoio il nuovo corpo, la nuova mente, la nuova memoria, la nuova vita avevano preso istantaneamente forma, creando un nuovo essere identico in tutto al primo.

La facoltà di creare modelli mediante impulsi era però limitata e non aveva nulla a che fare con la velocità, in quanto gli impulsi potevano rimbalzare da un punto all'altro della galassia in un batter d'occhio. Tuttavia, in determinate condizioni, i modelli a impulsi rischiavano di incrinarsi e per questo erano state create migliaia di stazioni intermedie. Le nuvole di polvere o di gas e la presenza di zone di alta ionizzazione erano i pericoli maggiori; perciò, nelle regioni galattiche in cui tale inconveniente era più frequente, la distanza tra una stazione e l'altra era relativamente minima. Le zone ad alta concentrazione di gas e polvere venivano sempre evitate.

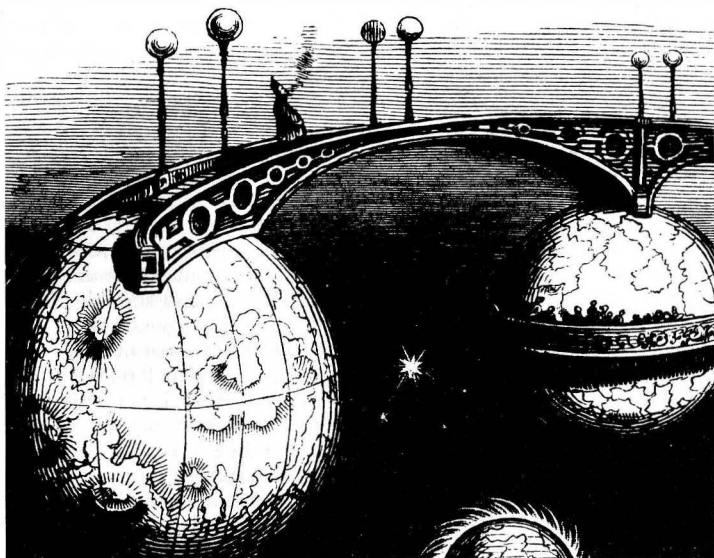
Enoch sarebbe stato curioso di sapere quanti corpi morti, copie della creatura che ora riposava nel serbatoio, giacevano nelle stazioni che essa aveva attraversato durante

il viaggio. Tra poche ore, quando il modello della creatura sarebbe ripartito viaggiando su onde a impulsi, anche quel corpo sarebbe morto. Una lunga sfilata di cadaveri si snodava lungo le stelle e ciascuno di essi sarebbe stato distrutto da un getto di acido e gettato in serbatoi interrati; ma la creatura avrebbe continuato a viaggiare fino a destinazione.

Perché viaggiavano? Per quali scopi andavano da una stella all'altra? A volte, parlando con qualcuno degli esseri che sostavano nella sua stazione, Enoch era riuscito a sapere qualcosa, ma per lo più essi non accennavano ai motivi dei loro viaggi e lui non aveva il diritto di fare domande perché era solo un guardiano.

Clifford D. Simak

La vicenda di Jordan

Altrettanto straordinaria la vicenda narrata da Robert A. Heinlein in Universo *(Mondadori, Milano, 1965). Una gigantesca astronave, partita dalla Terra nel 2119, sta viaggiando da migliaia di anni alla volta di Proxima Centauri (stella a 4,3 anni luce dal nostro pianeta). I remoti discendenti dell'equipaggio originario – alcuni dei quali, trasformatisi in mutanti, vivono separati dagli uomini – non sanno ormai quasi più nulla del funzionamento e degli obiettivi dell'immenso veicolo. Ignorano perfino l'esistenza dello spazio esterno e una nebulosa mitologia ha preso il posto delle nozioni scientifiche, al punto che Jordan, il primo comandante, è diventato il Dio creatore del mondo-astronave. Finché...*

P*onte saturniano*, incisione di Grandville.

Seguì un silenzio imbarazzato. Fu Narby a romperlo per primo.

"Bene", incominciò, "immagino che abbiate una buona ragione per farmi venire fin quassù. O volevate solo farmi uno scherzo?"

"Sono stato io a mandarti a chiamare", ammise Ertz. "Ecco... accidenti, non so da che parte cominciare. Vedi, Narby, tu non ci crederai, ma io *ho visto*. Tutto quello che diceva Hugh è vero. Sono andato anch'io alla Centrale Comandi, ho visto anch'io le stelle e ora sono convinto." Narby lo guardò con gli occhi sbarrati: "Ertz", disse lentamente, "sei impazzito".

Hugh Hoyland intervenne eccitato. "Dici così perché non hai visto. Ti assicuro, *si muove*. Te lo giuro, la Nave si muove come..."

"Lascia fare a me" lo interruppe Ertz. "Ascoltami, Narby. Che cosa significhi lo deciderai presto per conto tuo, ma io ti posso dire quello che ho visto. Mi hanno portato su dove non esiste peso fino nella Veranda del Comandante, un locale con una parete di vetro. Puoi vedere con i tuoi occhi un enorme spazio nero e vuoto, gigantesco, più grande di qualsiasi cosa... più grande della Nave! E splendono delle luci in quello spazio, le stelle, proprio come dicono gli antichi miti."

Narby apparve stupito e disgustato insieme: "Dov'è finita la tua logica, amico? Credevo che tu fossi uno scienziato. Che cosa significa *più grande della Nave*? È un concetto assurdo, una contraddizione in termini. Per definizione la Nave è la Nave e tutto il resto è parte della Nave".

Ertz scosse le spalle in un gesto di impotenza. "So che sembra come dici. Non sono in grado di spiegarti, sfida ogni logica. È come... oh, al diavolo! Lo capirai quando vedrai con i tuoi occhi."

"Calmati", suggerì Narby. "Non dire stupidaggini. Un concetto è logico o non lo è. Se una cosa esiste deve occupare spazio; tu hai visto, o hai creduto di vedere, una cosa notevole, ma qualsiasi cosa fosse non può essere più grande del locale in cui si trova. Non puoi mostrarmi nulla che contraddica una realtà naturale tanto ovvia."

"Ti ho già detto che non sono in grado di spiegartelo."

"È logico che tu non possa." [...]

Joe-Jim avanzò di un passo: "Stai perdendo tempo", disse con calma. Noi andiamo su... e tu con noi. Insisto, veramente".

Narby scosse il capo: "Toglietevelo dalla testa; un'altra volta, magari". [...]

Hugh gli si avvicinò dall'altra parte: "Mi pare che tu non abbia capito: verrai *ora*". Narby guardò dall'altra parte verso Ertz, che annuì: "È proprio così, Narby".

Narby bestemmiò tra sé. Gran Jordan! Che cosa gli era mai venuto in mente di lasciarsi ridurre in una situazione simile? Avvertiva in modo preciso la sensazione che l'uomo con due teste aspettasse solo un suo gesto di ribellione. Una situazione impossibile, inaudita. Inveì ancora tra sé, ma quando aprì bocca lo fece con la maggior grazia possibile.

"Va bene. Piuttosto che provocare una discussione preferisco venire subito. Andiamo. Da che parte?"

"Devi solo stare accanto a me", gli consigliò Ertz. Joe-Jim [un mutante con due teste, n.d.r.] emise un fischio modulato e alcuni mutanti parvero saltare fuori dalle stesse lastre d'acciaio del pavimento, dalle pareti, dai soffitti. Almeno altri otto si unirono al gruppo.

Narby si sentì venir meno quando si rese pienamente conto di quanto si fosse allontanato dal suo abituale comportamento cauto. Il gruppo prese a salire.

Impiegarono molto tempo a raggiungere la zona senza peso, dato che Narby non era abituato a inerpicarsi in quelle condizioni. La graduale diminuzione di peso mano a mano che salivano gli offriva un certo sollievo, ma l'aiuto era più che annullato dagli spasimi che sentiva allo stomaco, più violenti quanto più diventava leggero. Non soffrì un vero e proprio attacco di mal di spazio in quanto, come tutti quelli nati sulla Nave, equipaggio e mutanti, era più o meno acclimatato al peso ridotto; ma era dai tempi della sua sfrenata adolescenza che non usciva dalle zone inferiori della Nave. Quando giunsero al ponte più alto della Nave non era quasi più in grado di proseguire.

Joe-Jim rimandò indietro i mutanti che si erano aggregati al gruppo e ordinò a Bobo di trasportare Narby. Narby rifiutò l'aiuto: "Ce la posso fare da solo", protestò, e andò avanti per forza di volontà. Joe-Jim lo vide riprendersi e ritirò l'ordine. Quando, al termine di una lunga e veloce traversata del ponte, giunsero alla parete esterna della Centrale Comandi, Narby si sentiva di nuovo in forma.

Non si fermarono però alla Centrale Comandi, ma, come aveva suggerito Hugh, proseguirono fino alla Veranda del Comandante. Narby era preparato alla visione che lo aspettava, non solo dalle confuse spiegazioni di Ertz, ma anche perché Hugh gliene aveva parlato con eccitazione per buona parte della strada percorsa. Hugh provò una notevole simpatia per Narby: era meraviglioso avere qualcuno che stesse ad ascoltarlo!

Hugh entrò prima degli altri, attraversando con un balzo la porta ed eseguendo un perfetto giro a mezz'aria; si ancorò con una mano alla spalliera della poltrona del Comandante e con l'altra indicò la grande vetrata e il firmamento. "Eccolo!" gridò esultante. "Eccolo. Guarda, non è meraviglioso?"

Il volto di Narby non mostrò alcuna espressione, ma rimase a lungo a guardare intensamente quello splendore. "Notevole", ammise infine. "Veramente notevole. Non ho mai visto niente di simile."

"Notevole non è la parola adatta", protestò Hugh. "È meraviglioso!"

"D'accordo... meraviglioso", ripeté Narby. Quelle piccole luci brillanti... dici che sono le stelle di cui parlavano gli antichi?"

"Sì", rispose Hugh sentendosi sconcertato senza sapere il perché. "Solo che non sono piccole. Sono immani, gigantesche, come la Nave. Sembrano piccole perché sono lontanissime. Vedi quella più brillante, quella grande, là sulla sinistra? *Penso* che sia della costellazione del Centauro... ma non ne sono certo", concluse infine con franchezza.

Narby gli diede una rapida occhiata; poi riportò gli occhi sulla grande stella. "A che distanza si trova?"

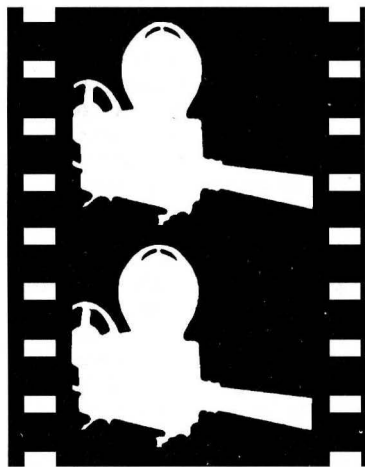
"Non so, ma riuscirò a scoprirlo. Ci sono strumenti per misurare la distanza delle stelle nella Centrale Comandi, però non riesco ancora a farli funzionare. Ma questo non ha molta importanza. Ci arriveremo comunque."

"Come?"

"Certo: finiremo il Viaggio!"

Robert A. Heinlein

L'universo e il cinema

Del cosmo e dei suoi misteri il cinema si è occupato sin dagli esordi. I film di fantascienza prodotti da allora si contano ormai a centinaia. Ma i capolavori si contano sulle dita di due mani.

Anche il cinema si è spesso interrogato sull'universo e sulle sue origini. Ma, di fronte ai molteplici enigmi posti dal *che cosa c'era prima*, dalla determinazione e dal destino stesso dell'universo, dai concetti di spazio e tempo e dalle origini delle forze della natura, non è riuscito ad andare oltre a comuni esemplificazioni, ripiegando sovente su soluzioni fantasiose. Infatti, a parte film come i due *Galileo* di Liliana Cavani (1968) e Joseph Losey (1975) che raccontano le osservazioni elaborate dal grande fisico italiano su alcuni fondamentali fenomeni celesti, più che sulle origini, il cinema si è espresso sulla ipotetica fine del cosmo, con esempi catastrofici dettati da forze oscure, comunque sempre in qualche modo controllate dall'uomo, come in *La meteora infernale* (1957) di John Sherwood, in cui una meteora caduta nel deserto della California dà origine a monoliti che si nutrono di carne umana minacciando la vita sulla Terra, o come in *Meteora* (1979) di Ronald Neame, dove la caduta di una gigantesca meteora provoca sul nostro pianeta ingenti danni senza tuttavia giungere alla distruzione totale.

In *Solaris* (1973) e in *Stalker* (1979) di Andreij Tarkovskij, invece, si affronta il tema angoscioso del cosmo in quanto tale, la curiosità di sapere e la paura di varcare la soglia estrema della conoscenza; in *Black Hole – Il Buco Nero* (1979) di Gary Nelson, ci si avvicina di più all'ansia millenaria dell'individuo proteso a decifrare i codici del grande mistero che circonda la sua esistenza. Ma solo con Stanley Kubrick, nel suo *2001: Odissea nello spazio* (1968), si ipotizza un itinerario scientifico metafisico che lambisce la teoria della relatività

e il rapporto vita-morte-risurrezione: itinerario, inscritto in una parabola allucinante che, partendo da una origine oscura, conduce a un futuro altrettanto ignoto. La successiva idea di un nuovo sole generato dall'esplosione del pianeta Giove, descritta dal film di Peter Hyamas *2010 – L'anno del contatto* (1984), ha il solo merito di inserirsi pretenziosamente sulla scia tracciata da Stanley Kubrick, ma con meno vigore e maestria artistica.
Il lungometraggio, però, che meglio di tutti apre uno squarcio illuminante su molti degli inesplicabili interrogativi che avvolgono origine e vita dell'universo, è il film-documentario *Dal Big Bang ai Buchi Neri* (1992) di Errol Morris. Un grande film sul famoso scienziato inglese Stephen Hawking, la cui mente straordinaria ha scandagliato i confini oscuri dello spazio astrale, giungendo a strabilianti conclusioni teoriche. Una grande e appassionante esperienza di vita, sorretta da una ferrea volontà e dall'amore per la scienza, coniugata in suggestive immagini di Errol Morris (considerato da molti il "filosofo" del documentario "impossibile") e magistralmente musicata da Philip Glass.

Galileo
Italia, 1968
Regia: Liliana Cavani
Con: Cyril Cusack, Gigi Ballista, Giulio Brogi
(Durata: 108')
Videocassetta: Domovideo
Drammatico

La travagliata storia di Galileo processato per eresia dal tribunale della Santa Inquisizione a causa delle sue teorie eliocentriche.

2001: Odissea nello spazio
(2001: A Space Odissey)
Gran Bretagna, 1968
Regia: Stanley Kubrick
Con: Keir Dullea, Gary Lockwood, William Sylvester, Leonard Rossiter, Margaret Tyzak, Robert Beatty, Sean Sullivan
Soggetto: dal racconto "The Sentinel" di Arthur C. Clarke
Fotografia: Geoffrey Unsworth
Musica: Richard Strauss, Johann Strauss, Aram Khačaturjan
(Durata: 140')
Videocassetta: MGM/UA Home Video
Fantascienza – Premio Oscar 1968 per gli effetti speciali

Un gigantesco monolito, filo conduttore di un viaggio dalle origini della vita a un enigmatico futuro, invia verso Giove strani messaggi radio. Per decifrarne il significato viene organizzata una spedizione scientifica che, a bordo di una grossa astronave governata dallo straordinario computer HAL 9000, parte alla volta del pianeta. Il computer, però, comincia ad avere uno strano comportamento che lo induce a eliminare tutti gli elementi dell'equipaggio, tranne uno.
Il sopravvissuto si trova, così, precipitato in un tunnel di luci, forme e rumori sibilanti, che lo introducono nell'anima dello spazio, da cui sembra materializzarsi una forma di vita ancora in embrione che guarda verso lo spettatore.

Solaris
(Soljaris)
U.R.S.S., 1973
Regia: Andreij Tarkovskij
Con: Natalia Bondarčiuk, Donats Banionis, Juri Jarvet, Anatoli Solonicyn, Vladislav Dvoreckij, Nicolaj Grin'ko

Soggetto: dal romanzo omonimo di Stanislaw Lem
Fotografia: Vadim Jusov
Musica: Eduard Artem'ev
(Durata: 114')
Videocassetta: Mastervideo
Fantascienza

Una stazione spaziale orbita intorno a un misterioso pianeta da cui proviene uno strano influsso che finisce con l'agire negativamente sull'equipaggio. Lo scienziato mandato a indagare sugli inspiegabili fenomeni scopre che l'influsso del pianeta Solaris ha il potere di materializzare i ricordi e le ossessioni degli astronauti, scoperta che gli farà trovare di fronte la moglie morta molti anni prima. Resosi conto dell'improvvisa ricomparsa dell'amata, l'uomo vorrebbe ricomporre il vecchio legame, ma la donna torna nuovamente a levarsi la vita, per poi rinascere ancora. Infine, mentre lo scienziato è vittima di una strana malattia, sulla superficie incandescente di Solaris si formano strane isole e, contemporaneamente, sulla stazione spaziale cessano tutti gli strani fenomeni che davano vita ai fantasmi del passato.

Così, finalmente, l'uomo può rivedere la casa di campagna in cui l'attende il padre.

Meteora
(Meteor)
U.S.A., 1979
Regia: Ronald Neame
Con: Sean Connery, Natalie Wood, Henry Fonda, Trevor Howard, Karl Malden, Brian Keith, Martin Landau
(Durata: 102')
Videocassetta: Warner Home Video
Avventura

Uno scienziato, responsabile della difesa americana, resosi conto che un gigantesco meteorite sta precipitando sulla Terra, chiede aiuto ai sovietici. Questi si dicono disponibili a intervenire, ma un generale statunitense si oppone strenuamente. Dopo i danni devastanti che la meteora fa registrare in varie parti del mondo, finalmente si dà il via alle operazioni congiunte, al fine di salvare il salvabile.

Stalker
U.R.S.S., 1979
Regia: Andreij Tarkovskij
Con: Aleksander Kajdanovski, Anatolij Solonitsyn, Nikolaj Grin'ko, Alisa Frejndlich, Nataša Abramova
Soggetto: da "Pic-nic sul ciglio della strada" di Arcadij e Boris Strugackij
Fotografia: Aleksander Kniăzinskij
Musica: Eduard Artem'ev
(Durata: 140')
Videocassetta: General Video
Fantascienza

Gli *stalker* sono guide clandestine che, dietro compenso, conducono le persone entro i confini di una zona proibita, presidiata da soldati. La ragione ufficiale è che il luogo, dicono le autorità, è stato contaminato dalla caduta di un meteorite. Ma una leggenda popolare sostiene che all'interno della zona vi sia una "stanza" della conoscenza e dei desideri, dove tutto può essere rivelato e ogni sogno esaudito. Quando, però, uno *stalker*, che vive con una bambina paralizzata e una moglie sfiduciata, conduce sul luogo uno scienziato e uno scrittore, questi ultimi due non hanno il coraggio di varcare la soglia della "stanza". Lo *stalker*, deluso, accusa i due di vigliaccheria ma, a sua volta, viene da loro accusato di lucrare sui desideri della gente. Rattristato da quanto

accaduto, lo *stalker* torna alla sua misera dimora, dove trova conforto tra le braccia della moglie, mentre la bambina muove degli oggetti con la forza dello sguardo.

The Black Hole – Il Buco Nero
(The Black Hole)
Regia: Gary Nelson
Con: Maximilian Schell, Anthony Perkins, Robert Forster, Ernest Borgnine
(Durata: 98')
Videocassetta: Walt Disney Home Video
Fantascienza

Un'astronave americana, il *Palomino*, avvicinandosi a un buco nero, si imbatte nella navicella *Cygnus*, una stazione scomparsa da molti anni. L'equipaggio viene invitato a salire a bordo della stazione, ma ben presto si accorge che il comandante non è altri che un folle scienziato, il quale ha sottomesso il proprio equipaggio per inseguire il sogno di violare i misteri del buco nero. Per salvarsi, l'equipaggio del *Palomino* ingaggia una dura lotta ma riesce a vincere.

2010 – L'anno del contatto
(2010 – *The year we make a contact)*
U.S.A., 1984
Regia: Peter Hyams
Con: Roy Scheider, John Lithgow, Helen Mirren
(Durata: 115')
Videocassetta: MGM/UA Home Video
Fantascienza

Circa un decennio dopo la scomparsa dell'astronave governata da HAL 900 di *2001: Odissea nello spazio*, viene organizzata da americani e sovietici una nuova missione scientifica che parte alla ricerca degli scomparsi e del misterioso monolito che racchiude i segreti del cosmo. Gli scienziati scoprono che l'anomalo e distruttivo comportamento di HAL 9000 era stato determinato dal contatto avuto con il monolite. Dalla Terra, intanto, sovietici e americani vengono richiamati a causa di un imminente conflitto mondiale che dovrebbe vedere ancora una volta opposte le due superpotenze. Ma prima che gli uomini della spedizione possano rientrare, assistono a una tremenda esplosione che distrugge Giove dando origine a un nuovo Sole.

Dal Big Bang ai Buchi Neri
(A brief history of time)
Gran Bretagna, 1992
Regia: Errol Morris
Tratto dal libro di Stephen Hawking *Dal Big Bang ai Buchi Neri – Breve storia del tempo*
Musica: Philip Glass
(Durata: 80')
Videocassetta: Panarecord
Biografico

Che cosa sappiamo dell'universo? Il tempo avrà mai fine? Questi sono gli interrogativi ai quali questo film cerca di dare una risposta, ricostruendo, attraverso le testimonianze di amici, collaboratori e familiari, la vita, le intuizioni e le scoperte di Stephen Hawking, il grande scienziato inglese condannato all'immobilità a causa di una malattia neurologica. Il titolare della cattedra, che fu di Newton a Cambridge, conduce lo spettatore fin dove la mente umana è riuscita ad arrivare, in un insolito, quanto stupefacente, viaggio nei meandri misteriosi dell'universo e della natura umana.

Giuseppe Colangelo

GLOSSARIO

Alone galattico Insieme di stelle vecchie e di ammassi globulari di forma sferica che circonda una galassia a spirale. Le osservazioni suggeriscono la presenza, intorno all'alone visibile, di un alone invisibile di massa e dimensioni decuple al primo.

Ammasso di galassie Denso raggruppamento di alcune migliaia di galassie legate dalla gravità; le sue dimensioni medie sono di circa 60 milioni di anni-luce e la massa è equivalente ad alcuni milioni di miliardi di soli.

Ammasso globulare Insieme sferico di circa 100.000 stelle vecchie legate dalla forza gravitazionale.

Andromeda Galassia gemella della Via Lattea, nota anche come M 31, a 2,3 milioni di anni-luce dalla Terra. Insieme, queste due galassie dominano la massa del gruppo locale.

Anno-luce La distanza percorsa dalla luce (che si sposta alla velocità di 300.000 km/s) in un anno ed equivalente a 9460 miliardi di chilometri. Così, un giorno-luce = 26 miliardi di km; 1 ora-luce = 1,1 miliardo di km; 1 minuto-luce = 18 milioni di km; 1 secondo-luce =300.000 km.

Antiparticella Particella elementare che costituisce l'antimateria e che possiede quasi le stesse proprietà di quella che costituisce la materia (*vedi* Particella). Una delle principali differenze è la carica, che è di segno opposto. L'antiparticella dell'elettrone è il positrone, quella del protone è l'antiprotone, eccetera. Le particelle neutre come il fotone sono le loro proprie antiparticelle. Entrando in contatto, le particelle e le antiparticelle si annullano e diventano luce. Noi viviamo in un universo di materia. L'antimateria è estremamente rara: la si osserva soltanto nei raggi cosmici e negli acceleratori di particelle ad alta energia.

Asteroide Corpo celeste roccioso che può raggiungere i 1000 km di diametro, ma di forma piuttosto irregolare; in effetti la sua massa è troppo esigua perché la gravità possa modellarlo in forma sferica, come nel caso dei pianeti.

Big Bang Teoria cosmologica secondo la quale l'universo primordiale, estremamente caldo e denso, sarebbe nato da un'immane esplosione che si sarebbe verificata contemporaneamente e in ogni punto dello spazio in un'epoca compresa dai 10 ai 20 miliardi di anni fa. Questa esplosione avrebbe segnato il principio di un'espansione che continua ancora.

Buco nero Risultato del collasso della materia (per esempio, di una stella di massa superiore a 5 soli) che crea un campo gravitazionale tanto forte e uno spazio talmente incurvato che la materia e la luce sono incapaci di uscirne.

Cannibalismo galattico Processo per cui le forze gravitazionali di una galassia frenano il moto di una galassia di massa minore. Quest'ultima ricade a spirale verso la maggiore e ne viene "divorata", perdendo la propria identità. Le sue stelle si mescolano a quelle della galassia cannibale.

Cometa Frammento di ghiaccio e di polvere con un nucleo del diametro di pochi chilometri. È visibile solo in prossimità del Sole, di cui riflette la luce. Il ghiaccio, evaporando sotto l'effetto del calore solare, crea una lunga coda rivolta in direzione opposta al Sole, e che può raggiungere alcune centinaia di milioni di chilometri di lunghezza.

Cosmologia Studio delle grandi strutture dell'universo e della sua evoluzione.

Densità critica Densità di materia che produrrebbe un universo piatto, privo di ogni curvatura e uguale a tre atomi

di idrogeno al metro cubo di spazio. Un universo dotato di tale densità critica smetterebbe di dilatarsi solo dopo un tempo infinito. Un universo dotato di densità superiore alla densità critica avrebbe una curvatura positiva e collasserebbe in futuro (universo detto "chiuso"). Un universo dotato di densità inferiore a quella critica avrebbe una curvatura negativa e si espanderebbe in eterno ("universo aperto"). Le osservazioni confermano la teoria dell'universo aperto.

Disco galattico Insieme di stelle, di gas e di polveri in una galassia a spirale, a forma di frittata molto schiacciata. Il disco ha circa 90.000 anni-luce di diametro e 3000 anni-luce di spessore. Nella Via Lattea le stelle compiono una rivoluzione intorno al centro galattico ogni 250 milioni di anni, viaggiando alla velocità di 230 km/s.

Elementi pesanti Insieme degli elementi chimici che hanno un nucleo più pesante di quello dell'elio. Ancora chiamati "metalli", questi elementi pesanti sono fabbricati dalle stelle.

Elettrone La più leggera delle particelle elementari dotate di carica elettrica. L'elettrone ha una massa di 9×10^{-28} g e possiede carica negativa.

Elio Elemento chimico con il nucleo composto da due protoni e da due neutroni (He_4). In un'altra varietà più rara di elio il nucleo è composto da due protoni e da un neutrone (He_3). Fabbricato nel corso dei primi tre minuti dell'universo, l'elio costituisce circa un quarto della sua massa totale.

Fluttuazioni di densità Irregolarità spaziali che si riscontrano nella densità dell'universo e che costituiscono i "semi" delle galassie. Tali irregolarità consistono in minuscole fluttuazioni della temperatura della radiazione fossile, misurate di recente dal satellite *COBE*: si aggirano intorno ai 30 milionesimi di grado C.

Forza elettromagnetica Forza che agisce solo sulle particelle dotate di carica. A causa della f.e. le particelle dotate di carica opposta si attraggono e quelle di carica dello stesso segno si respingono.

Forza gravitazionale Forza di attrazione che agisce su ogni massa. Di tutte le forze è la più debole, ma anche quella dotata di maggior portata.

Forza nucleare debole Forza responsabile della disintegrazione degli atomi e del fenomeno della radioattività. Agisce solo su scala subatomica (10^{-15} cm).

Forza nucleare forte La più vigorosa delle quattro forze che si trovano in natura. Lega insieme i *quark* per formare protoni e neutroni, e i protoni e i neutroni per formare i nuclei atomici. Il suo raggio d'azione è quello del nucleo atomico (10^{-13} cm). Non agisce sui fotoni e sugli elettroni.

Fotone Particella elementare della radiazione, priva di massa, che si sposta alla massima velocità possibile (300.000 km/s); a seconda dell'energia da essa veicolata, la particella può essere, in ordine decrescente di energia, un fotone gamma, X, ultravioletto, visibile, infrarosso o radio.

Galassia Insieme compreso tra i 10 milioni (galassia nana) e i 10.000 miliardi (galassia gigante) di stelle legate insieme dalla gravità. È l'unità fondamentale delle strutture dell'universo. Una galassia media, come la Via Lattea, contiene circa 100 miliardi di soli.

Galassia a nucleo attivo È una galassia in cui la maggior parte della luce e dell'energia proviene da una regione centrale miliardi di volte più piccola (da alcune ore-luce ad alcuni mesi-luce), detta "nucleo". L'energia del nucleo può derivare da un buco nero di massa pari ad alcune decine di milioni di soli; situato nel centro della galassia, "divora" le stelle che passano nelle vicinanze.

Galassia ellittica Galassia che proietta nel cielo la forma di un'ellisse. Generalmente contiene stelle vecchie e una quantità minima o nulla di gas e di polvere.

Galassia irregolare Galassia, spesso nana, di forma diversa dalla spirale o dall'ellisse. Contiene molte stelle gialle, nonché una grande quantità di gas e di polvere.

Galassia nana Galassia di modeste dimensioni (15.000 anni-luce, circa un sesto di una galassia normale) e di massa ridotta (dai 100 milioni a un miliardo di masse solari, cioè dalle 1000 alle 10.000 volte inferiore alla massa di una galassia normale). Le galassie nane possono essere di tipo ellittico o irregolare, mentre non è stata rilevata l'esistenza di galassie nane a spirale.

Galassia a spirale Galassia composta da un ammasso sferico di stelle (denominato bulbo) e da un disco periferico e appiattito di stelle, gas e polvere interstellare. Le stelle gialle e luminose disegnano nel disco alcuni bei bracci a forma di spirale.

Gigante rossa Stella che ha esaurito la propria dotazione di idrogeno e che brucia elio. L'iniezione di energia dovuta alla combustione dell'elio "gonfia" la stella fino a farne moltiplicare le dimensioni di alcune decine di volte; di qui la denominazione di gigante. Contemporaneamente la stella si raffredda in superficie; di conseguenza la luce diventa rossa.

Grande attrattore Grande massa di 100 milioni di miliardi di masse solari. Se ne ignora la natura. Il g.a. esercita la propria attrazione gravitazionale sul superammasso (*supercluster*) locale, che sembra destinato a cadervi dentro.

Granulo interstellare Particella di polvere di un milionesimo di centimetro. Nata negli strati esterni delle giganti rosse, assorbe la luce azzurra delle stelle, rendendole meno luminose e più rosse.

Gruppo di galassie Insieme di una ventina di galassie legate dalla gravità. Ha le dimensioni di circa 6 milioni di anni-luce e una massa media variante dai 1000 ai 10.000 miliardi di soli.

Gruppo locale Gruppo di galassie di cui fanno parte la Via Lattea e Andromeda. Queste due galassie, dotate di una massa di 1000 miliardi di soli, dominano la massa del g.l. Le altre componenti del nostro g.l. sono galassie nane (10-100 milioni di masse solari).

Idrogeno È l'elemento chimico più leggero. Gli atomi di idrogeno, formati da un protone e da un elettrone, costituiscono i tre quarti della massa dell'universo.

Massa invisibile Materia di natura ignota che non emette radiazioni di alcun genere. L'esistenza di questa massa invisibile è stata dedotta a partire da studi sui moti delle stelle e del gas nelle galassie, su quelli delle galassie negli ammassi e dall'abbondanza relativa degli elementi chimici fabbricati nel Big Bang. La m.i. può costituire dal 90% al 98% della massa totale dell'universo.

Movimento retrogrado Moto apparente dei pianeti in rapporto alle stelle, che avviene in senso inverso a quello abituale.

Nana bianca Piccolo oggetto celeste (di qui il nome di nana: ha un diametro di circa 10.000 km, più o meno equivalente, cioè, a quello della Terra) e denso (10^5-10^8 g/cm^3). Deriva dal collasso di una stella di massa inferiore alle 1,4 masse solari e ormai priva di combustibile. Gli elettroni della nana bianca non possono essere troppo compressi ed esercitano una forza opposta a quella di gravità, impedendo alla stella di trasformarsi in buco nero. Il moto degli elettroni riscalda la nana, che

diffonde nello spazio una caratteristica luce bianca.

Nana nera Nana bianca che, avendo ormai prodigato nello spazio tutta l'energia cinetica dei suoi elettroni, diventa un "cadavere stellare" invisibile.

Nebulosa planetaria Involucro gassoso proiettato nel corso del collasso di una stella di massa inferiore agli 1,4 soli. Quest'ultima si trasforma in nana bianca, e la n.p. appare illuminata dalla sua radiazione.

Neutrino Particella neutra soggetta solo all'energia nucleare debole e (se dotata di massa) alla forza di gravità. I neutrini, prodotti in gran numero nei primi istanti dell'universo e in misura trascurabile nei nuclei stellari e nelle supernove, possono dominare la massa dell'universo se la loro massa raggiunge un milionesimo di quella degli elettroni. Con una massa di un decimo di millesimo degli elettroni la loro gravità è in grado di arrestare l'espansione dell'universo e farlo collassare. Non si sa ancora se il neutrino sia o no dotato di massa.

Neutrone Particella neutra costituita di tre *quark*; insieme con il protone compone i nuclei degli atomi. Il neutrone possiede una massa pari a 1838 volte quella dell'elettrone e una massa leggermente maggiore di quella del protone.

Nucleo atomico Insieme di protoni e di neutroni legati dall'energia nucleare forte. La sua carica elettrica, uguale alla somma delle cariche dei protoni, è positiva. Il nucleo, 100.000 volte più piccolo di quello dell'atomo, ha una dimensione di 10^{-13} cm e costituisce appena un milionesimo di miliardesimo del volume dell'atomo.

Particella elementare Componente fondamentale della materia e della radiazione. Ciò che è considerato "elementare" si evolve con il tempo, man mano che le conoscenze progrediscono. Così il protone e il neutrone, ritenuti un tempo elementari, sono oggi considerati composti da tre *quark*. L'elettrone, il neutrino e il fotone sono esempi di particelle lementari.

Pianeta Oggetto celeste sferico di oltre 1000 km di diametro; non possiede una sorgente propria di energia nucleare, orbita intorno a una stella e ne riflette la luce.

Protone Particella di carica positiva, fatta di tre *quark* e componente, insieme al neutrone, dei nuclei atomici. Il protone possiede una massa pari a 1836 volte quella dell'elettrone.

Pulsar *Vedi* Stella di neutroni.

Quark Particella elementare componente del protone e del neutrone. Possiede una carica elettrica frazionaria eguale a un terzo o ai due terzi della carica dell'elettrone, ed è sottoposta all'energia nucleare forte. Non essendo stato mai isolato in laboratorio, il quark è tuttora un'entità ipotetica.

Quasar Oggetto celeste che ha l'apparenza di una stella (il nome proviene dalla contrazione del termine anglo-latino *quasi-star*) ma con una luce molto spostata verso il rosso (indizio della sua enorme distanza dalla Terra). I quasar sono gli oggetti più lontani e i più luminosi dell'universo. La loro immensa energia deriva probabilmente da un buco nero di un miliardo di masse solari, che divora le stelle della galassia circostante. Alcuni astronomi (una minoranza) ritengono che il netto spostamento della luce dei quasar verso il rosso sia assolutamente indipendente dalla loro lontananza, e che questi oggetti siano in realtà vicinissimi.

Radiazione fossile Radiazione di radioonde che investe l'intero universo; risale al periodo in cui il cosmo aveva solo 300.000 anni. Il satellite *COBE* ha scoperto che la sua temperatura (3 °K)

non varia più di 30 milionesimi di grado K in tutti i punti dell'universo; tale impercettibile variazione è causata da "semi" di galassie. Insieme all'espansione dell'universo, la radiazione fossile costituisce uno dei pilastri della teoria del Big Bang.

Raggi cosmici Particelle (soprattutto protoni ed elettroni) accelerate ad altissime energie dalle supernove e dai campi magnetici dell'ambiente interstellare.

Raggi gamma Sono le particelle di luce dotate di maggior energia.

Raggi X Sono le particelle dotate di maggior energia dopo i raggi gamma.

Stella Sfera gassosa composta per il 98% di idrogeno e di elio e per il restante 2% di elementi pesanti. La stella è equilibrata dall'azione di due forze uguali e opposte: la forza di gravità, che la comprime, e le radiazioni prodotte dalle reazioni nucleari che avvengono nel nucleo e che tendono a farla esplodere. Il Sole ha una massa di 2×10^{33} g e la massa di una stella può variare da un decimo a cento volte la massa del Sole.

Stella di neutroni Oggetto celeste estremamente compatto (il raggio è di circa 10 km) e denso (10^{14} g per cm^3), risultante dal collsso di una stella di massa compresa tra le 1,4 e le 5 volte quella del Sole e che ha esaurito il proprio combustibile. Formata quasi esclusivamente di neutroni, ruota velocemente ed emette un fascio di onde radio che raggiungono la Terra a ogni giro. Donde una sequenza di segnali separati da intervalli regolari, che hanno valso alla s. di n. il nome di pulsar.

Superammasso di galassie Insieme di decine di migliaia di galassie riunite in gruppi e in ammassi e legato dalla gravità. Hanno la forma di un disco molto schiacciato e una dimensione media di 90 milioni di anni-luce. La loro massa è pari a quella di 10 milioni di miliardi (10^{16}) di masse solari.

Superammasso locale Il superammasso cui appartiene la Via Lattea (donde la qualifica di locale). Il gruppo locale che ospita la Via Lattea è situato ai margini del disco schiacciato che costituisce il superammasso; al centro di quest'ultimo si trova l'ammasso di galassie detto della Vergine (il superammasso locale è ancora noto sotto il nome di "superammasso della Vergine").

Teoria dell'universo stazionario Teoria cosmologica fondata sul principio cosmologico perfetto, secondo il quale l'universo è simile a se stesso in ogni tempo, in ogni luogo e in ogni direzione. Per compensare il vuoto che si crea tra le galassie in seguito al processo di espansione dell'universo, questa teoria è costretta a postulare una continua creazione di materia.

Via Lattea Nome immaginifico della nostra galassia.

Vuoto (o buco) dell'universo Parte dell'universo priva di galassie che si estende per molte decine di milioni di anni-luce.

INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI

Copertina
I Pierre-Marie Valat, *Balletto cosmico*, disegno. © P.-M. Valat.
Dorso Galassia a spirale vista di profilo, fotografia. © Smithsonian Institution, Washington.
IV Le Pleiadi, fotografia. © NASA.

Apertura
1 La galassia M101 alla luce visibile. © Ciel et Espace/CFHT/Gregory.
2 La nebulosa del Cavallo alla luce visibile. © Ciel et Espace/Sisk.
3 La galassia a spirale M106 ripresa dal rivelatore elettronico CCD (*Charged Coupled Device*). © Science Photo Library/George Fowler.
4 La galassia Sombrero M104 alla luce visibile. © Science Photo Library/Gordon.
5 La galassia a spirale M81, immagine al CCD. © Science Photo Library/George Fowler.
6 La nebulosa della Tarantola. © Ciel et Espace/ESO.
7 La galassia a spirale NGC 1097 in un'immagine computerizzata. © Science Photo Library/Lorre.
8 La nebulosa di Orione. © Ciel et Espace/Sisk.
9 La nebulosa M20, NGC 6514 della costellazione del Sagittario, immagine CCD, particolare. © Science Photo Library/George Fowler.
11 Eclisse di Sole, corona in luce bianca. © NASA.

Capitolo I
12 *Il Sole attraversa il corpo della dea Nut, dea del Cielo*, dal sarcofago in legno dipinto di Tachapen-Khonson (ca. 700 a.C.). Parigi, Louvre. © RMN.
13 *Systema Mundi*, miniatura da un codice quattrocentesco *Les echecs amoureux* appartenuto a Luisa di Savoia. Parigi, Bibliothèque nationale, ©.
14 Dama davanti a Râ Horakti, stele in legno stuccato e dipinto di Tentperet-Dama Tenet Chenet. Egitto, Epoca Bassa. Parigi, Louvre. © RMN.
14-15 Shiva Mataraja. Il dio danza in un cerchio di fuoco che simboleggia il cosmo e schiaccia un nano. Bronzo in stile dravidico, India meridionale. Parigi, Musée Guimet. © Dagli Orti.
16 (sopra) Filosofo cinese mentre studia lo *yin* e lo *yang*, ricamo cinese su seta (XIX secolo). Londra, British Museum, ©.
16 (sotto) Il sistema planetario di Tolomeo raffigurato in Lambert de Saint-Omer, *Liber floridus*. Parigi, Bibliothèque nationale, ©.
17 (sopra) *Idem, ivi.*
17 (al centro) *Idem, ivi.*
17 (sotto) *Idem, ivi.*
18 Manoscritto dell'*Arte* di Eudosso in greco antico, papiro con vignetta astronomica raffigurante alcuni segni dello zodiaco (Egitto, II secolo d.C.). Parigi, Louvre. © RMN.
19 L'universo e le coorti angeliche, xilografia in Hartman Schedel, *Liber* (1493). Londra, British Museum, ©.
20 *Systema Mundi*, frontespizio di Riccioli, *Almagestum novum* (1651). Parigi, Bibliothèque nationale, ©.
21 Jean Baptiste Homan, *Il sistema solare e planetario secondo Copernico*, incisione colorata a mano, 1700. Parigi, Bibliothèque nationale, ©.
22 (sopra) Nicolas de Fer, *L'ordine delle sfere celesti secondo Tycho Brahe*, acquaforte (1670). Parigi, Bibliothèque nationale, ©.
22 (sotto) H. Hansen, *Stjerneborg* (1882), dipinto. Frederiksborg, Nationalhistoriske Museum, ©.
23 Anonimo, *La cometa del 1577*, incisione colorata. © D.R.
24 (a sinistra) Le diverse fasi lunari in un manoscritto galileiano. Firenze, Biblioteca nazionale centrale. © Scala, Firenze.
24 (a destra) *Idem, ivi.*
25 (sotto) *Idem, ivi.*
25 (sopra) O. Leoni, *Galileo* (1624), dipinto. Parigi, Louvre. © RMN.
26 Sfera, incisione in G. Keplero, *Mysterium cosmographicum* (1596). Parigi, Bibliothèque nationale, ©.
27 (sopra) Telescopio di Newton (1672). © Archives Larousse, Paris.
27 (sotto) J. Wright, *Il planetarium*

(1766), dipinto. Derby, Museum and Art Gallery. © Giraudon.
28 (sopra) Lord Rosse, *La galassia a spirale M51*, disegno (1845). Parigi, Bibliothèque de l'Observatoire. © Archives Larousse, Paris.
28 (sotto) La costruzione del telescopio gigante di lord Rosse, litografia coeva. © Ronan Picture Library, Somerset.
29 (sopra) A. Carrière, *Il marchese de Laplace*, dipinto. Parigi, Musée de l'Observatoire. © Ronan Picture Library, Somerset.
29 (sotto) Lord Rosse, *La galassia a spirale M99*, disegno (1845). © Archives Larousse, Paris.

Capitolo II
30 La galassia a spirale di Andromeda. © NASA.
31 Il radiotelescopio *Very Large Array* nel New Mexico. © NASA.
32 Anonimo del XVIII secolo, *Il tetto girevole dell'osservatorio dell'Ecole Militaire di Parigi*, penna e acquerello. Parigi, Conservatoire national des arts et métiers, ©.
33 (a sinistra) R.W. Porter, *Il telescopio di Hale sul monte Palomar* (1939), disegno. © Archives Larousse, Paris.
33 (a destra) *Idem, la cupola dell'osservatorio di Hale.* © California Institute of Technology, Palomar Observatory, Pasadena.
34 (a sinistra) Centaurus A, una galassia dal cuore attivo che emette fasci di radioonde, fotografata alla luce visibile. © Anglo-Australian Telescope Board.
34 (a destra) Centaurus A ripresa alle radioonde. © European Southern Observatory, Munich.
35 (sopra) Centaurus A ai raggi X. © Smithsonian Institution, Washington.
35 (sotto) Modellino del progetto *Very Large Telescope* dell'ESO a Monaco di Baviera. © European Southern Observatory, Munich.
36 E. Calamy, *I diversi tipi di luce*, disegno. © E. Calamy.
37 (sopra) P. Hudson, *Veduta del telescopio spaziale Hubble*, dipinto. © NASA.
37 (in basso a sinistra) Veduta simulata di un ammasso di galassie distanti 1,5 miliardi di anni luce da un telescopio a terra della stessa potenza di quello di monte Palomar. © NASA.
37 (sotto a destra) Veduta di un ammasso di galassie con il telescopio spaziale *Hubble*. © NASA.
38 (sopra) La Via Lattea, da W. Herschel, *Catalogo siderale*. © Gallimard.
38-39 (sotto) P.-M. Valat, *Sezione della Via Lattea*, disegno. © P.-M. Valat.
39 (sopra) Ammasso globulare nella costellazione di Ercole. © California Institute of Technology, Palomar Observatory, Pasadena.
40-41 La Via Lattea vista alle radioonde. © Max Planck Institut, Bonn.
42-43 La Via Lattea all'infrarosso. © Astronomic Society of the Pacific.
44 (sotto) Centro galattico all'infrarosso. © NASA.
44-45 (sopra) La Via Lattea alla luce visibile. © Mount Stromlo and Siding Springs Observatories.
44-45 (al centro) La Via Lattea ai raggi X. © NASA.
46 (a sinistra) Messier, *la nebulosa di Andromeda*, disegno. Parigi, Académie des Sciences. © Ciel et Espace.
46-47 *Gli universi-isola*, incisione in T. Wright, *Nuova teoria dell'universo* (1750). © D.R.
47 (a destra) La scoperta di una stella variabile della galassia di Andromeda effettuata da Hubble. © California Institute of Technology, Palomar Observatory, Pasadena.
48 (sotto) La galassia Sombrero. © European Southern Observatory, Munich.
48-49 (sopra) E. Calamy, *Il diagramma di Hubble*, disegno. © E. Calamy.
49 (sotto) La galassia ellittica M 87. © Macdonald Observatory.
50 (a sinistra) La galassia NGC 2997. © Anglo-Australian Telescope Board.
50 (a destra) La galassia NGC 89 in un'immagine computerizzata. © D.R.
51 La galassia irregolare MKN 86. © Trinh Xuan Thuan.
52 (sopra) Simulazione al computer di una collisione tra due galassie. © NASA.
52 (sotto) La galassia del Topo. © NASA.

Capitolo III

Capitolo IV

91 Nebulosa planetaria della Lira, M 57. © NASA.
92 (a sinistra e a destra) Prima e dopo l'apparizione della supernova 1987 A. © European Southern Observatory.
93 La supernova 1987 A vista dal telescopio spaziale *Hubble*. © NASA.
94 (sopra) Stella a neutroni Cygnus X-2. © NASA.
94 (sotto) Nebulosa del Granchio. © California Institute of Technology, Palomar Observatory, Pasadena.
95 (sopra) Pulsar della nebulosa del Granchio ai raggi X. © NASA.
95 (sotto) P.-M. Valat, *Pulsar*, disegno. © P.-M. Valat.
96 E. Calamy, *Buco nero*, disegno. © E. Calamy.
97 E. Calamy, *Sistema binario contenente un buco nero e caratterizzato dall'emissione di raggi X*, disegno. © E. Calamy.
98-99 P.-M. Valat, *Vita e morte di una stella*, disegno. © P.-M. Valat.
100 (sopra) I resti di una supernova. © Smithsonian Institution, Washington.
100-101 (sotto) Forbice romana di ferro da Riva del Garda (I secolo d.C.). Riva del Garda, Museo civico La Rocca. © Dagli Orti.
101 (sopra) *Torques* celtico. Londra, British Museum, ©.

Capitolo V
102 La lava del vulcano Kilauea si riversa nell'oceano Pacifico, ingrandendo a poco a poco l'isola di Hawaii. © Explorer/Krafft.
103 Microrganismo primitivo. © D.R.
104-105 (sopra) Strutture molecolari dell'acqua, del metano e dell'ammoniaca. © E. Calamy.
106 E. Calamy, *La nascita del sistema solare*, disegno. © E. Calamy.
107 Giove e i suoi satelliti. © NASA.
108-109 P.-M. Valat, *Il sistema solare*, disegno. © P.-M. Valat.
110 (sopra) Mercurio. © Ciel et Espace/JPL.
110 (al centro) La superficie dell'emisfero settentrionale di Venere in una foto scattata dalla sonda *Magellano* nel 1990. © Ciel et Espace/JPL.
110 (sotto) Vulcano di Venere. © Ciel et Espace/JPL.
111 (sopra) Il monte Olimpo, gigantesco vulcano spento di Marte. © NASA.
111 (al centro) Marte visto dal *Mariner 9*. © NASA.
111 (sotto) Il sole di Marte. © Ciel et Espace/JPL.
112 (sopra a sinistra) La Grande Macchia rossa di Giove. © NASA.
112 (sopra a destra) I quattro satelliti galileiani (Ganimede, Callisto, Io ed Europa) fotografati dal *Voyager 1*. © NASA.
112 (sotto) Giove fotografato dal *Voyager 1*. © NASA.
113 (sopra) Gli anelli di Saturno fotografati dal *Voyager 1*. © NASA.
113 (sotto) Saturno fotografato dal *Voyager 1*. © NASA.
114 (sopra e sotto) Nettuno fotografato dal *Voyager 2*. © NASA.
115 (sopra) Urano fotografato dal *Voyager 2*. © NASA.
115 (sotto) Plutone e Caronte fotografati dal telescopio spaziale *Hubble*. © NASA.
116 (sopra) Stelle cadenti. © Yerkes Observatory, Chicago.
116 (sotto) Il Meteor Crater (Arizona). © Ciel et Espace/Brunier.
117 Lava eruttata da un vulcano. © Explorer/Krafft.
118 (sopra) Cavallone oceanico. © Explorer.
118 (sotto) Modellino della doppia elica del DNA. © Palais de la Découverte.
119 La Terra vista da *Apollo 11*. © Explorer/Plisson.
120 (sopra) *Paesaggio ideale dei primi tempi del Giurassico*, litografia in Rengade, *La creazione naturale e gli esseri viventi*. Parigi, Bibliothèque nationale, ©.
120 (sotto a sinistra e a destra) Fossili. © Gallimard.
121 Paesaggio preistorico, litografia. © Gallimard.
122 (sopra) Venere vista dalla sonda *Magellano*. © NASA.
122-123 (sotto) La superficie di Marte vista dal *Viking 1*. © NASA.
123 (sopra) Il buco dell'ozono

nell'Antartide. © NASA.
124 (a sinistra) Beta Pictoris e il suo disco visti all'infrarosso. © Astronomic Society of the Pacific.
124 (a destra) La targa installata tra i montanti dell'antenna del *Pioneer 10.* © NASA.
125 (a sinistra) D. Hardy, *Il* Voyager 1 *si allontana da Saturno*, disegno. © Ciel et Espace/Hardy.
125 (a destra) Il disco sistemato a bordo del *Voyager 1.* © NASA.
126-127 La stazione spaziale *Freedom.* © NASA.
127 (in alto a sinistra) Il radiotelescopio dell'osservatorio di Arecibo (Portorico). © Ciel et Espace.
127 (in alto a destra) Il testo del radiomessaggio lanciato da Arecibo. © Ciel et Espace/NAIC-NSF.
Pieghevole 1. C. Foss, *Il calendario cosmico*, disegno. © C. Foss; 2. Albert Einstein e le equazioni che costituiscono il supporto matematico della Relatività generale. © Roger Viollet.

Testimonianze e documenti
130 (a sinistra) Il calendario azteco o "pietra del Sole", monolito di basalto del regno di Montezuma II (1502-1520). Museo nazionale di antropologia, Città del Messico. © Dagli Orti, Paris.
130 (a destra) Statuette lingee raffiguranti Zeus ed Era, arte ionica (IX secolo a.C.). Museo di Samo. © Deutsches Archäologisches Institut von Athens.
131 Scena di cosmogonia del sarcofago di Butehamon, XXI dinastia. Torino, Museo Egizio.
133 Coperchio del sarcofago della tomba nel "Tempio delle Iscrizioni" di Palenque. Fotografia di Merle Greene Robertson, San Francisco, ©.
134 (a sinistra) Busto di Aristotele, III secolo a.C. Napoli, Museo Archeologico Nazionale.
134 (a destra) Erma di Platone. Roma, Musei capitolini. © Giraudon.
135 Pianeti, disegno in *Voyage Through the Universe.* © D.R.
136 *La caduta degli angeli ribelli*, dipinto di Brueghel, particolare. Museo delle Belle Arti, Bruxelles.
139 Giacomo Leopardi. © Archivio Electa.
141 Il pianeta Saturno. © D.R.
142 *La creazione del mondo*, litografia colorata, fine del XIX secolo, particolare. Museo delle Arti e delle Tradizioni popolari, Parigi. © Charmet, Paris.
146 *Dio crea il Sole e la Luna*, Michelangelo. Roma, Cappella Sistina. © Archivio Electa.
149 *La notte stellata*, incisione tedesca, XIX secolo. © D.R.
153 Stephen Hawking. © D.R.
154 *Il giocoliere dell'universo*, incisione di Grandville, in *Un autre monde*, 1844.
157 Targa apposta su *Pioneer 10*. © D.R.
160 Fotogramma del film *E.T.* di S. Spielberg, 1982.
163 *Ponte saturniano*, incisione di Grandville, in *Un autre monde*, 1844.

INDICE DEI NOMI

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., *Astronomia*, Giunti-Marzocco, Firenze, 1986.

AA.VV., *Astrofisica e cosmologia*, Giunti-Barbera, Firenze, 1979.

AA.VV., *La riscoperta del cielo*, Mondadori, Milano, 1976.

I. Asimov, *Le parole della scienza*, Mondadori, Milano, 1976.

I. Asimov, *Il collasso dell'universo*, Mondadori, Milano, 1978.

J. Barrow, *Il Mondo dentro il Mondo*, Adelphi, Milano, 1991.

J. Barrow, *Teorie del Tutto*, Adelphi, Milano, 1992.

C. Blacker, M. Loewe, *Antiche cosmologie*, Ubaldini, Roma 1978.

E. Bussoletti, F. Melchiorri, *Astronomia Infrarossa*, Mondadori, Milano, 1983.

M. Capaccioli, *Il Divenire dell'Universo*, Curcio, Roma, 1985.

M. Cavedon, *Astronomia*, Mondadori, Milano, 1992.

V. Croce, *Luci e ombre sull'universo*, Paravia, Torino, 1981.

A. Einstein, *Il significato della Relatività*, Einaudi, Torino, 1955.

A. Einstein, *Relatività. Esposizione divulgativa*, Boringhieri, Torino, 1975.

A. Einstein, *Come io vedo il mondo*, Newton Compton, Roma, 1976.

K.W. Ford, *La fisica delle particelle*, Mondadori, Milano, 1975.

G. Gamow, *Biografia della fisica*, Mondadori, Milano, 1976.

L. Gratton, *Introduzione all'astrofisica* (2 voll.), Zanichelli, Bologna, 1978.

L. Gratton, *Origine ed evoluzione dell'universo*, La Nuova Italia, Firenze, 1992.

L. Gratton, *Relatività, cosmologia e astrofisica*, Boringhieri, Torino, 1976.

M. Hack, *La radioastronomia*, Laterza, Bari, 1960.

S. Hawking, *Dal Big Bang ai Buchi Neri*, Rizzoli, Milano, 1988.

J. Herrmann, *Atlante di astronomia*, Mondadori, Milano, 1975.

Hoyle, *Galassie, nuclei, quasar*, Einaudi, Torino, 1970.

P. Maffei, *Al di là della Luna*, Mondadori, Milano, 1987.

J.C. Pecker, *Guardiamo l'universo*, Feltrinelli, Milano, 1974.

T. Regge, *Cronache dell'Universo*, Boringhieri, Torino, 1981.

M. Rizzotti, *Materia e Vita*, Utet, Torino, 1991.

D.W. Sciama, *Cosmologia moderna*, Mondadori, Milano, 1973.

R. Sexl, B. Schmidt, *Spazio-Tempo*, Boringhieri, Torino, 1980.

R.M. Wald, *Teoria del Big Bang e buchi neri*, Boringhieri, Torino, 1980.

S. Weinberg, *I primi tre minuti*, Mondadori, Milano, 1977.

Trinh Xuan Thuan nasce in Vietnam, ad Hanoi. Dopo aver frequentato il liceo francese di Saigon, prosegue gli studi al California Institute of Technology e, poi, all'Università di Princeton. Dal 1976 è docente di astrofisica presso l'Università della Virginia, dove tiene un corso di astronomia per poeti. Specializzato in astronomia extragalattica, ha scritto diversi articoli sulla formazione e sulla evoluzione delle galassie. È autore di *La Mélodie secrète* (Fayard, 1988), e di *Un astrophysicien* (Beauchesne-Fayard, 1992).

Edizione italiana a cura di
Martine Buysschaert

Traduzione
Carlo Montrésor
Redazione
Stefania Rossi
Carla Dainese Onori
Consulenza grafica
Marcello Francone

La sezione
"Testimonianze e documenti"
è stata realizzata
appositamente per
l'edizione italiana.

Realizzazione tecnica
Elemond Editori Associati

Stampa
Editoriale Libraria, Trieste

Printed in Italy

Edizione originale francese
Le destin de l'Univers
Le big bang, et après

ISBN 88-445-0033-7